



UFOP

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – UFOP

ESCOLA DE MINAS

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA



LUCAS SILVA RABELO COSTA

**DIMENSIONAMENTO E SELEÇÃO DE EXAUSTORES EÓLICOS
JUNTO AO PROJETO DE ISOLAMENTO TÉRMICO DE UM
RECINTO**

**OURO PRETO - MG
2022**

LUCAS SILVA RABELO COSTA
Lucas.rabelo@aluno.ufop.edu.br

**DIMENSIONAMENTO E SELEÇÃO DE EXAUSTORES EÓLICOS
JUNTO AO PROJETO DE ISOLAMENTO TÉRMICO DE UM
RECINTO**

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
2022

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

C837d Costa, Lucas Silva Rabelo.

Dimensionamento e seleção de exaustores eólicos junto ao projeto de isolamento térmico de um recinto. [manuscrito] / Lucas Silva Rabelo Costa. Lucas Silva Rabelo Costa. - 2022.
61 f.

Orientador: Prof. Dr. Luís Antônio Bortolaia.

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

1. Compressores eólicos. 2. Isolamento térmico. 3. Isolamento térmico - Conforto térmico. I. Costa, Lucas Silva Rabelo. II. Bortolaia, Luís Antônio. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU 621

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



FOLHA DE APROVAÇÃO

Lucas Silva Rabelo Costa

Dimensionamento e seleção de exaustores eólicos junto ao projeto de isolamento térmico de um recinto

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 11 de Outubro de 2022

Membros da banca

DSc. Luís Antônio Bortolaia - Orientador (Universidade Federal de Ouro Preto)
DSc. Elisângela Martins Leal (Universidade Federal de Ouro Preto)
DSc. Claudio Marcio Sanatana (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 25/10/2022



Documento assinado eletronicamente por **Luís Antonio Bortolaia, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 25/10/2022, às 08:54, 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 **0416924** e o código CRC **03023CA0**.

A meus pais e irmã dedico mais esta etapa
vencida.

A república Tarja Preta pelos momentos,
obrigado...

AGRADECIMENTO

Ao meu orientador Luís Antônio Bortolaia, pela ajuda, apoio e paciência neste trabalho.

A minha família!

A República Tarja Preta.

Aos amigos que fiz durante a graduação.

“A mudança não acontecerá se nós esperarmos por outra pessoa ou se esperarmos por algum outro momento. Nós somos as pessoas pelas quais esperávamos. Nós somos a mudança que buscamos.”

Barack Hussein Obama

RESUMO

Costa, Lucas Silva Rabelo: **Dimensionamento e seleção de exaustores eólicos junto ao projeto de isolamento térmico de um recinto**, 2022 (Graduação em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Ouro Preto.

As cargas térmicas internas e a irradiação solar fazem com que a temperatura interna do recinto se eleve fazendo com que a atividade laboral seja prejudicada. Além disso, a presença de produtos com forte odor e trânsito de caminhões prejudica a qualidade do ar interno podendo desenvolver doenças nos colaboradores. O presente trabalho tem o objetivo de dimensionar e selecionar um sistema de exaustão eólica e isolamento térmico por poliestireno expandido (EPS) visando a garantia da temperatura e renovação total do ar 18 vezes por hora em um recinto com atividade laboral e trânsito de caminhões para carga e descarga. Para o estudo de caso, foi selecionado exaustores eólicos capazes de suprir a vazão calculada a partir da carga térmica total gerada pelas fontes de calor como irradiação, equipamentos e pessoas além da definição de um isolante térmico construído com poliestireno expandido (EPS) que se adequa bem ao projeto devido sua facilidade de manuseio, custo por placas e disponibilidade no mercado. A análise financeira feita entre as duas espessuras do isolante, 5 e 10 centímetros, mostrou que o custo dos exaustores a mais necessários para suprir a carga térmica da placa de 5 centímetros representou 2,55% do preço da diferença entre o custo das placas. Em termos financeiros, o custo das placas de 10 centímetros representa R\$ 23.052,00 enquanto o preço da diferença de exaustores a mais é de R\$ 587,10.

Palavras-chave: exaustor eólico, isolante térmico, galpão, renovação de ar, conforto térmico, carga térmica, análise financeira.

ABSTRACT

Internal thermal loads and solar irradiation cause the internal temperature of the enclosure to rise, causing work activity to be impaired. In addition, the presence of products with a strong odor and the traffic of trucks impairs the quality of the indoor air, which can develop diseases in the employees. The present work has the objective of dimensioning and selecting a wind exhaust system and thermal insulation by expanded polystyrene (EPS) aiming to guarantee the temperature and total air renewal 18 times per hour in an area with work activity and transit of trucks for cargo. and unloading. For the case study, wind turbines capable of supplying the flow calculated from the total thermal load generated by heat sources such as irradiation, equipment and people were selected, in addition to the definition of a thermal insulator built with expanded polystyrene (EPS) that fits well to the project due to its ease of handling, cost per board and market availability. The financial analysis made between the two thicknesses of the insulator, 5 and 10 centimeters, showed that the cost of the extra exhaust fans needed to supply the thermal load of the 5 centimeter board represented 2.55% of the price of the difference between the cost of the boards. In financial terms, the cost of the 10-centimeter slabs represents R\$ 23,052.00 while the price of the difference for extra hoods is R\$ 587,10.

Key-words: wind exhaust, thermal insulation, expanded polystyrene, shed, air renewal, thermal comfort, odors, smoke, thermal load, thermal property, financial analysis.

LISTA DE SIMBOLOS

C_p	Calor específico a pressão constante	$\text{kJ/kg}\cdot^\circ\text{C}$
ρ	Massa específica do ar	kg/m^3
V	Volume do galpão	m^3
h	Largura	m
l	Comprimento	m
a	Altura	m
ϕ	Fluxo de calor	W
R_{se}	resistência superficial externa	$(\text{m}^2\cdot\text{K})/\text{W}$
R_S	Radiação solar	W/m^2
A	Área da superfície	m^2
t_e	Temperatura externa	$^\circ\text{C}$
α	Absortividade	-
t_i	Temperatura interna	$^\circ\text{C}$
e	Espessura	m
R	Resistência térmica	$\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}/\text{W}$
k	Condutividade térmica	$\text{W/m}\cdot^\circ\text{C}$
U	Coefficiente global de transferência de calor	$\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$
$Q_{latente}$	Calor latente	W
$Q_{sensível}$	Calor sensível	W

S1	Calor latente liberado pelos ocupantes	W
S2	Calor sensível liberado pelos ocupantes	W
N	Número de pessoas	-
Q_{equip}	Carga térmica devido aos equipamentos	kcal/h
P_m	Potência dissipada pelo equipamento	HP
N1	Eficiência do motor a diesel	%
Q_{ins}	Carga térmica devido a insolação	W
$Q_{pessoas}$	Carga térmica devido as pessoas	W
Q_{equip}	Carga térmica devido aos equipamentos	W
Q_t	Máxima taxa de transferência de calor no recinto	W
ΔT	Variação de temperatura entre o ambiente interno e externo	°C
$Q_{m\acute{a}x}$	Vazão volumétrica máxima necessária	m ³ /h
Q_{exaus}	Vazão volumétrica máxima do exaustor	m ³ /h
EPS	Poliestireno expandido	-
NBR	Norma brasileira	-
R_{tot}	Resistência total	m ² .°C/W
$\sum R_T$	Somatório de resistências	m ² .°C/W
Q_{comb}	Energia do combustível	W
HP	<i>Horse Power</i>	-

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Objetivo da ventilação industrial	6
Figura 2 - Ventilação natural em prédio. Efeito "tiragem" com chaminé	7
Figura 3 - Casos típicos de ventilação em galpões	8
Figura 4 - Renovação de ar	9
Figura 5 - Circuito térmico equivalente para uma parede composta em série.	13
Figura 6 - Calor liberado por pessoas (kcal/h)	15
Figura 7 - Fluxo de massa e calor em um motor de combustão interna	16
Figura 8 - Exaustor eólico	18
Figura 9 - Instalação de exaustores eólicos	19
Figura 10 - Exemplo dos efeitos dos exaustores	20
Figura 11 - Instalação EPS	21
Figura 12 - Diagramação da pesquisa.....	22
Figura 13 - Diagrama de etapas da pesquisa	24
Figura 14 - Recinto de estudo.....	27
Figura 15 - Local de estudo por outro ângulo	28
Figura 16 - Galpão 3D.....	28
Figura 17 - Dimensões do galpão	29
Figura 18 - Comparação da irradiação solar no plano horizontal.....	30
Figura 19 - Interface Radasol	30
Figura 20 - Temperaturas máximas e mínimas em Oliveira – MG	31
Figura 21 - Irradiação ao longo do dia mais quente do ano	31
Figura 22 - Ventos ao longo do ano em Oliveira – MG.....	32
Figura 23 - Dados técnicos do veículo modelo	35
Figura 24 - Carga térmica em W	36

Figura 25 - Vazão de ar por hora.....	37
Figura 26 - Exaustores eólicos	37
Figura 27 - Comparação da carga térmica de acordo com as espessuras	39
Figura 28 - Comparação da vazão	40
Figura 29 - Disposição dos exaustores	41
Figura 30 - Disposição do isolante	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Concentração máxima de monóxido de carbono NBR 16401-3.....	8
Tabela 2 - Valores máximos para materiais particulados.....	9
Tabela 3 - Absortividade e (α) (ondas curtas) e emissividade (ϵ) para alguns tipos de superfície	11
Tabela 4 - Resistência térmica superficial interna e externa	12
Tabela 5 - Densidade de massa aparente (r), condutividade térmica	14
Tabela 6 - Variáveis e Indicadores	26
Tabela 7 - Orientação e área de cada superfície	28
Tabela 8 - Radiação em cada plano por hora (W/m^2).....	32
Tabela 9 - Propriedades térmicas dos materiais	33
Tabela 10 - Superfície, Área, transmitância térmica e absortividade.....	33
Tabela 11 - Cálculo da insolação.....	34
Tabela 12 - Calor sensível, latente e total.....	34
Tabela 13 - Carga térmica devido a caminhões.....	35
Tabela 14 - Carga térmica total	36
Tabela 15 - Quantidade de exaustores	38
Tabela 16 - Exaustores para renovação de ar	38
Tabela 17 - Dimensões e quantidade de peças	39
Tabela 18 - Preços das placas	39
Tabela 19 - Comparação exaustores	40

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Formulação do Problema.....	1
1.2	Justificativa.....	2
1.3	Objetivos.....	3
1.3.1	Geral	3
1.3.2	Específicos.....	3
1.4	Estrutura do Trabalho	3
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1	Homeotermia humana e conforto térmico	4
2.2	Mecanismos de troca de calor	4
2.2.1	Convecção	4
2.2.2	Radiação	5
2.2.3	Composição e propriedades do ar.....	5
2.3	Generalidades da ventilação industrial	5
2.4	Classificação de ventilação industrial.....	6
2.4.1	Ventilação natural ou espontânea	6
2.5	Renovação de ar.....	8
2.6	Carga térmica.....	10
2.6.1	Carga térmica devido a insolação	10
2.6.2	Carga térmica devido a condução.....	12
2.6.3	Carga térmica devido as pessoas	14
2.6.4	Carga térmica devido a equipamentos.....	16
2.6.5	Carga térmica total.....	17
2.7	Vazão para a retirada de calor sensível	17
2.8	Exaustão eólica	18
2.9	Isolamento térmico – Poliestireno expandido (EPS).....	20
3	METODOLOGIA.....	22
3.1	Tipos de pesquisa.....	22
3.2	Materiais e métodos	24
3.3	Instrumento de coleta de dados	25
3.4	Variáveis e indicadores.....	25
3.5	Tabulação de dados	26

4	RESULTADOS	27
4.1.1	Características do recinto.....	27
4.2	Características da cidade	29
4.3	Cálculo da carga térmica	33
4.3.1	Irradiação solar	33
4.3.2	Pessoas.....	34
4.3.3	Equipamentos	35
4.4	Carga térmica total.....	35
4.5	Vazão de ar necessária.....	36
4.6	Exaustores eólicos para suprir a vazão de ar necessária e renovação do ar	37
4.6.1	Seleção do isolante térmico e análise financeira	38
4.6.2	Posicionamento dos exaustores eólicos e do isolante térmico	40
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	42
5.1	Recomendações	43
	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	44

1 INTRODUÇÃO

1.1 Formulação do Problema

Dá-se o nome de ventilação ao processo de renovação do ar de um recinto. O objetivo fundamental da ventilação é controlar a pureza e o deslocamento do ar em um ambiente fechado, embora, dentro de certos limites, a substituição do ar também possa controlar a temperatura e a umidade do ambiente (COSTA, 2005).

A cada ano que passa a busca pelo aumento da eficiência da produção se torna maior com o surgimento de novas tecnologias. Parte dessa busca passa por um ambiente de trabalho propício para a realização das atividades dos colaboradores, bom funcionamento de equipamentos e controle da produção.

É fundamental garantir que as máquinas operem em regime correto em todos os âmbitos. Entender o projeto e seguir as condições de operação asseguram bom funcionamento industrial e evitam paradas não programadas. O ambiente de trabalho é um dos principais requisitos que devem ser cumpridos para que a produção não seja comprometida.

É necessário insistir que a ventilação industrial não visa apenas a atender a condições favoráveis para aqueles que trabalham no interior das fábricas ou nos limites das mesmas. Objetiva, também, impedir que o lançamento na atmosfera, através de chaminés ou outros recursos, de fumaças, poeiras, gases, vapores e partículas venha a contaminar o ar, ameaçando a saúde e a vida da população das vizinhanças e até mesmo de locais relativamente afastados (MACINTYRE, 1990).

Com o objetivo de manter as condições ideais para que os colaboradores possam executar suas atividades no recinto é dimensionado um sistema de ventilação e isolamento térmico.

Assim sendo, surge a problemática:

Como dimensionar um sistema de exaustão eólica e isolamento térmico que tenha em vista o conforto térmico dos colaboradores em um galpão através do controle da temperatura, eliminação de odores e possíveis contaminantes?

1.2 Justificativa

Segundo Paranhos Filho (2007) as empresas estão em constante busca por vantagens competitivas, aprimoram seus processos, inventam dispositivos, melhoram sua relação com os colaboradores para conseguir melhores índices de produtividade e, conseqüentemente, melhores resultados. Ainda segundo o autor, em ambiente seguro, as empresas investem, projetam e implementam processos eficientes.

Além disso, a escassez de recursos naturais, o quadro econômico de instabilidade e um processo competitivo global pelo qual tem passado a sociedade nestes últimos tempos, tem exigido a minimização dos custos, otimizando os investimentos, levando-nos inexoravelmente à conservação de energia nos setores industrial, comercial e residencial. Na indústria, isto vem sendo feito diminuindo-se as perdas de energia no processo produtivo, especificando-se equipamentos com máxima eficiência e operando-os o mais próximo desta condição (MOREIRA, 2006).

A ventilação industrial, adequadamente projetada e operada, consegue eliminar agentes nocivos à saúde humana, ou no mínimo consegue uma redução na intensidade e na concentração dos agentes contaminantes a níveis de quase total inocuidade e evita que esses agentes se dispersem na atmosfera, prejudicando um número considerável de pessoas, afetando mesmo as condições ecológicas indispensáveis à vida (MACINTYRE, 1990).

Segundo Macintyre (1990) as conseqüências de uma poluição, dependendo do poluente, podem manifestar-se sob a forma de graves doenças, entre as quais devem ser mencionadas enfisema pulmonar, hipertensão arterial, doenças dos olhos e dermatites.

Para Costa (2005) um ambiente é salubre quando o ar nele contido apresenta propriedades físicas (pressão, temperatura, umidade e movimentação) e químicas tais que possibilitam favoravelmente a vida em seu meio.

Segundo Clezar e Nogueira (2009) o emprego da ventilação industrial pode ser utilizado para o controle de contaminantes em níveis aceitáveis, temperatura e umidade para conforto e prevenção ao fogo e a explosões.

Portanto, o dimensionamento de um sistema de ventilação industrial e de um isolante térmico garantirá um ambiente de trabalho confortável e seguro para os colaboradores além de assegurar que as máquinas operem nas temperaturas fornecidas pelos fabricantes.

1.3 Objetivos

1.3.1 Geral

Projetar um sistema de ventilação e isolante térmico para um ambiente industrial.

1.3.2 Específicos

- Realizar revisão bibliográfica sobre ventilação industrial e isolantes térmicos, seus usos e suas vantagens;
- Avaliar as condições para o qual o sistema será projetado;
- Calcular a carga térmica gerada no local do projeto;
- Projetar e dimensionar, de acordo com a literatura, um sistema de ventilação utilizando exaustores eólicos além da instalação de um isolante térmico que garanta as condições ideais de trabalho para os colaboradores e assegure o funcionamento normal dos equipamentos presentes no recinto;
- Analisar economicamente as duas espessuras diferentes de placas dos isolantes térmicos que atendem ao projeto;

1.4 Estrutura do Trabalho

O presente trabalho é dividido em cinco capítulos, nos quais apresentam introdução, revisão bibliográfica, metodologia, resultados e conclusões.

No segundo capítulo é apresentado a revisão bibliográfica contendo elementos descritivos, normas vigentes e informações para que o projeto seja efetivamente comprovado, quando necessário.

No terceiro capítulo é apresentado a metodologia incluindo o método, procedimentos teóricos, pesquisa contextual e a sequência lógica do projeto.

O penúltimo capítulo compreende nos resultados obtidos na pesquisa. O último capítulo finaliza a pesquisa apresentando as conclusões.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Homeotermia humana e conforto térmico

De acordo com Frota e Schiffer (1987), o homem é um animal homeotérmico que é mantido a uma temperatura interna constante de 37°C com *range* de sobrevivência inferior de 32°C e limite superior de 42°C.

Segundo Valdiero e Thesing (2016) a importância de diagnosticar e analisar as condições de um ambiente para que seja possível obter as condições adequadas à ocupação humana e às atividades desempenhadas estão baseadas na satisfação do homem ou seu bem-estar, o desempenho humano e a conservação da energia.

Para Frota e Schiffer (1987) apesar da termorregulação ser o meio natural de controle de perdas de calor pelo organismo representa um esforço extra, causando uma queda na potencialidade de trabalho.

Vale ressaltar alguns aspectos dos índices de conforto térmico. De acordo com Frota e Schiffer (1987) quando se trata de trabalho físico, o aumento da temperatura ambiente de 20°C para 24°C resulta numa diminuição de rendimento de até 15%, enquanto a 30°, com umidade relativa 80%, cai cerca de 28%.

2.2 Mecanismos de troca de calor

2.2.1 Convecção

Conforme Frota e Schiffer (1987) convecção é a troca de calor entre dois corpos, sendo um deles sólido e o outro um fluido (líquido ou gás).

Para Çengel e Ghajar (2012, p. 25), a convecção é “o modo de transferência de energia entre a superfície sólida e a líquida ou gás adjacente que está em movimento e que envolve os efeitos combinados de condução e de movimento de um fluido”.

Para as trocas de calor por convecção serem ativadas, Frota e Schiffer (1987) afirmam que quando se trata de superfícies verticais a velocidade do ar é a geradora. Neste caso, ainda de acordo com o autor, mesmo que o movimento do ar seja natural o mecanismo de troca pode ser considerado como convecção forçada.

A convecção forçada é definida por Çengel e Ghajar (2012, p. 26) “se um fluido é forçado a fluir sobre a superfícies por meios externos, como ventilador, bomba ou vento”. Já o

mecanismo de convecção natural ou livre segundo Çengel e Ghajar (2012) é quando o fluido é induzido por diferenças de densidade devido a variação de temperatura no mesmo.

2.2.2 Radiação

A radiação é outra forma de condução de calor. Segundo Çengel e Ghajar (2012, p. 27), este processo pode ser definido como:

Radiação é a energia emitida pela matéria sob a forma de ondas eletromagnéticas (ou fótons) como resultado das mudanças nas configurações eletrônicas de átomos ou moléculas. Ao contrário da condução, a transferência de calor por radiação não exige a presença de um interveniente.

Segundo Frota e Schiffer (1987) esse mecanismo de troca é possível através da capacidade dos corpos em absorver energia térmica em consequência da natureza térmica que, ao ser absorvida, permite a sua transmissão até mesmo no vácuo.

2.2.3 Composição e propriedades do ar

De acordo com Costa (2005) a pressão atmosférica é o resultado de uma pressão exercida sobre as camadas inferiores da atmosfera devido ao peso da camada de ar. As características “normais” que são definidas para a temperatura de referência de 20°C valem:

- Massa específica, $\rho = 1,2928 \text{ kg/m}^3$;
- Calor específico a pressão constante, $C_p = 1,00902 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$.

Ainda segundo Costa (2005) um ambiente é caracterizado como salubre quando as propriedades físicas (temperatura, pressão, umidade e movimentação) e químicas possibilitam a vida em seu meio.

2.3 Generalidades da ventilação industrial

Segundo Macintyre (1990) ventilar significa deslocar o ar. Na prática, o deslocamento do ar tem como finalidade a retirada ou o fornecimento de ar a um ambiente, ou seja, renova o ar dele.

Costa (2005, p. 1) diz que “o objetivo fundamental da ventilação é controlar a pureza e o deslocamento do ar em um ambiente fechado, embora, dentro de certos limites, essa substituição do ar também é capaz de controlar a umidade do ambiente e a temperatura”.

De acordo com Clezar e Nogueira (2009) a vazão de ar é o principal parâmetro de um projeto de ventilação industrial. Segundo o autor, todas as dimensões da instalação de ventilação são determinadas por ela sendo necessário retirar a mesma massa de ar que se pretende introduzir no recinto. Com isso, as aberturas de entrada e de saída devem estar com as dimensões e posições adequadas ilustradas na Figura 1.

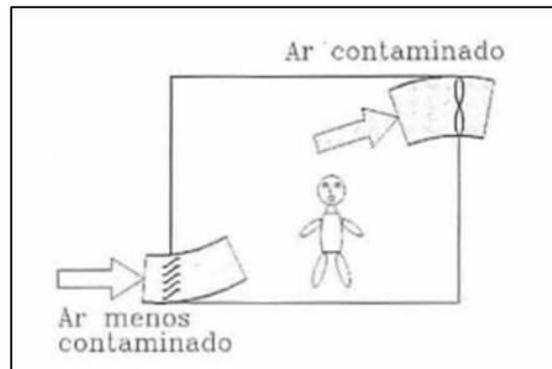


Figura 1 - Objetivo da ventilação industrial
FONTE: CLEZAR, Carlos Alfredo; NOGUEIRA, Antônio Carlos Ribeiro (2009)

Segundo Macintyre (1990) a ventilação para manutenção do conforto e eficiência do homem visa restabelecer as condições desejáveis para o ar quando alteradas devido ao aquecimento ou resfriamento de equipamentos ou das condições climáticas. Além disso, o autor afirma que essa busca controlar a concentração de gases, vapores e partículas devendo ocorrer a diluição de contaminantes em ambiente industriais antes que os mesmos se espalhem.

2.4 Classificação de ventilação industrial

2.4.1 Ventilação natural ou espontânea

Conforme Macintyre (1990), a forma mais simples de ventilação existente na engenharia consiste em proporcionar a entrada e saída de ar de um ambiente controlada e intencional devido a aberturas de portas e janelas existentes para esse fim. A Figura 2 ilustra

uma chaminé com pequena altura em relação ao prédio. Nela é possível observar que há entradas de ar pelo teto e por janelas.

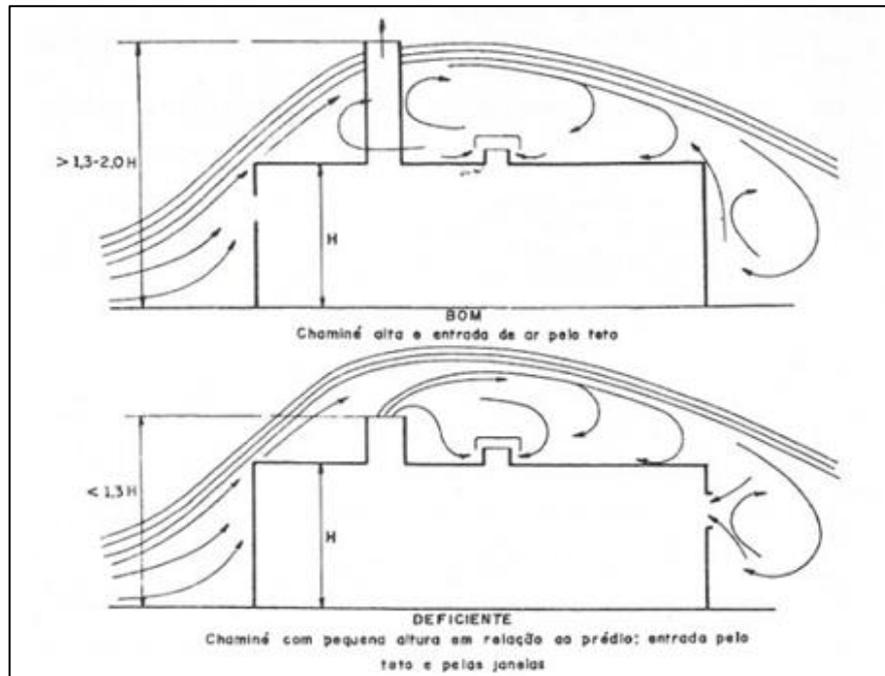


Figura 2 - Ventilação natural em prédio. Efeito "tiragem" com chaminé
 FONTE: MACINTYRE, Archibald Josef (1990)

De acordo com Macintyre (1990) o efeito chaminé acontece devido a diferença entre as densidades do ar exterior e interior do prédio. Ainda segundo o autor, além disso, a diferença de pressão é uma consequência da ação do vento sobre as paredes e coberturas do recinto.

Para as mais variadas situações, Macintyre (1990, p. 39) diz que:

As condições dos ventos não são sempre as mesmas, variando em intensidade e direção ao longo do ano e mesmo no decurso das 24 horas diárias. Por isso, a ventilação natural pela ação do vento não oferece garantia de uniformidade, o que não invalida sua adoção em muitos casos, desde que o ar interno não contenha poluentes. Conhecendo-se a velocidade média sazonal dos ventos locais e adotando-se 50% de seu valor como base para cálculo, pode-se determinar a vazão Q de ar que entra em um recinto através de aberturas de área total A , quando a velocidade do vento for igual a v .

A Figura 3 ilustra diferentes configurações de ventilação natural em galpões.

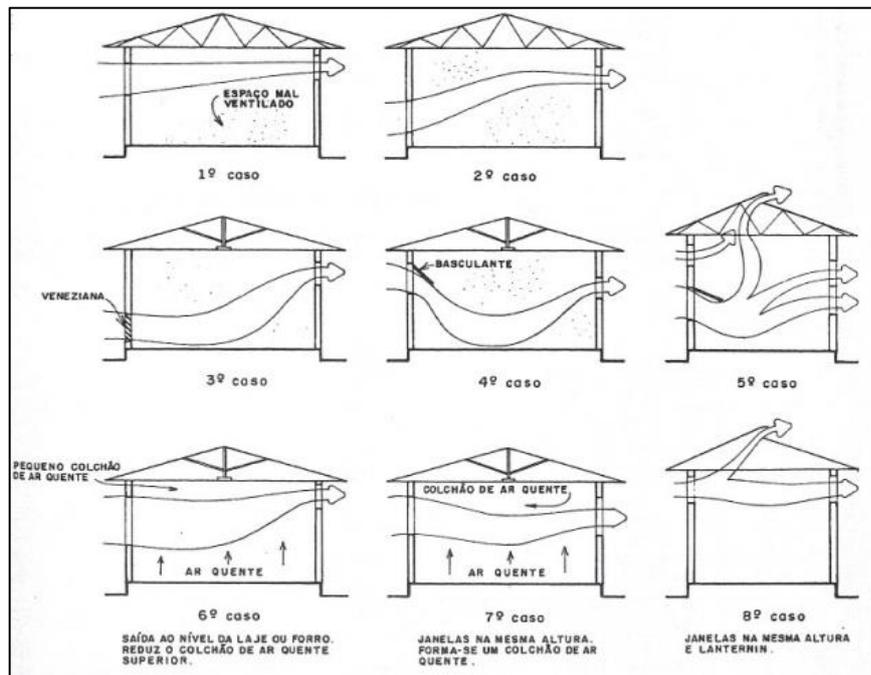


Figura 3 - Casos típicos de ventilação em galpões
 FONTE: MACINTYRE, Archibald Josef (1990)

A figura 3 ilustra oito configurações diferentes que demonstram recintos bem e mal ventilados de acordo com a posição das entradas e saídas de ar.

2.5 Renovação de ar

Sabe-se que é de suma importância a renovação de ar em um ambiente fechado. Para locais que apresentam concentrações de gases, como o monóxido de carbono (CO), a NBR 16401-3 (2008, p. 19) traz a Tabela 1 como o limite estabelecido.

Tabela 1 - Concentração máxima de monóxido de carbono NBR 16401-3

Poluente	Limite	Fontes	Comentários
Monóxido de carbono (CO)*	9 ppm (8h)	Queima de combustíveis, e gás, gasolina, óleo diesel, carvão etc. Captação de ar de garagens e estacionamentos ou de ruas muito movimentadas Vazamentos de aquecedores ou caldeiras a gás	Ambientes com elevadas concentrações de CO devem ser investigados, para localização da fonte O CO é um gás asfíxiante que reduz a oxigenação do sangue Limite estipulado com base na sensibilidade de pessoas com enfermidades coronárias

Fonte: Adaptado de NBR 16401-3 (2008, p. 19)

Em relação a materiais particulados como degradação do material sólido, poeira proveniente de limpeza, processos industriais, trânsito, queima de combustível e fragmentação de papel a NBR 16401-3, (2008, p. 19) estabelece o limite de $50 \mu\text{m}^3$ conforme a Tabela 2.

Tabela 2 - Valores máximos para materiais particulados

Material particulado (PM ₁₀) *	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Degradação do material sólido Poeira proveniente de limpeza, processos industriais, trânsito, queima de combustível, fragmentação de papel etc.	Baseado em proteger a população em geral de doenças respiratórias e evitar a indução de crise de asma. Exposição média de um ano, se não possuir material carcinogênico Irritação de olhos, nariz e garganta Co-fator de bronquites e crises de asma
--	-----------------------------	---	---

Fonte: Adaptado de NBR 16401-3 (2008, p. 19)

Para o cálculo da renovação total do ar dentro do recinto, usando o método da renovação do ar, é necessário encontrar o volume total interno de acordo com a equação 1.

$$V = h \cdot l \cdot a \quad (1)$$

Em que:

- V : volume total do recinto em (m^3);
- h : largura do recinto em metros
- l : comprimento total em metros;
- a : altura total em metros.

Segundo Macintyre (1990) as renovações de ar recomendadas podem ser visualizadas na Figura 4

Recinto a ser ventilado	Renovações p/h	CFM p/ pessoa
Escritórios	6 a 20	10
Salas de conferência	25 a 30	40
Pequenas oficinas	8 a 12	
Salas de depósito	2 a 15	
Cozinhas	10 a 30	
Garagens	6 a 30	
Equipamentos mecânicos	8 a 12	
Fundições	5 a 20	
Pinturas e polimentos	18 a 22	
Restaurantes	6 a 20	
Sanitários	8 a 20	

Figura 4 - Renovação de ar
Fonte: Adaptado de Macintyre (1990).

De acordo com a Figura 4, basta identificar a atividade exercida no recinto e aplicar o número de renovações recomendadas.

Para o cálculo da quantidade de exaustores, deve-se seguir a equação 2.

$$\text{Quantidade de exaustores} = \frac{V}{Q_{exaus}} \quad (2)$$

Em que:

- V : é o volume do recinto;
- Q_{exaus} : é a capacidade de vazão dos exaustores eólicos.

2.6 Carga térmica

Desta forma, de acordo com Menezes (2005, p. 20) carga térmica é “a quantidade de calor que deve ser retirada ou fornecida a um local ou sistema, na unidade de tempo, objetivando a manutenção de determinadas condições térmicas”.

De acordo com Macintyre (1990) para um cálculo mais rigoroso da carga térmica deve-se considerar:

- o calor sensível devido à irradiação solar sobre os vidros e paredes externas e coberturas;
- o calor sensível devido a motores elétricos;
- calor sensível devido a outros equipamentos eventualmente existentes no recinto.

Ainda segundo Macintyre (1990) a primeira providência a ser tomada em um projeto de ventilação é determinar as fontes de calor mencionadas. Logo, conhecida a carga térmica, calcula-se a vazão de ar necessária para reduzi-la a um nível compatível com o conforto ambiental.

2.6.1 Carga térmica devido a insolação

Macintyre (1990, p. 94) define que “a carga térmica devida à insolação, isto é, à incidência solar direta sobre paredes e cobertura tem um efeito importante sobre o problema de isolamento térmico, podendo em certos casos exigir, mesmo a instalação de ar-condicionado”.

Segundo a NBR 15220-2 (2005, p.16) “a resistência térmica superficial varia de acordo com vários fatores, tais como: emissividade, velocidade do ar sobre a superfície e temperaturas da superfície, do ar e superfícies próximas”.

A Tabela 3 apresenta os fatores citados para alguns tipos de materiais.

Tabela 3 - Absortividade e (α) (ondas curtas) e emissividade (ϵ) para alguns tipos de superfície

Tipo de superfície	α	ϵ
Chapa de alumínio (nova e brilhante)	0,05	0,05
Chapa de alumínio (oxidada)	0,15	0,12
Chapa de aço galvanizada (nova e brilhante)	0,25	0,25
Calação nova	0,12 / 0,15	0,90
Concreto aparente	0,65 / 0,80	0,85 / 0,95
Telha de barro	0,75 / 0,80	0,85 / 0,95
Tijolo aparente	0,65 / 0,80	0,85 / 0,95
Reboco claro	0,30 / 0,50	0,85 / 0,95
Revestimento asfáltico	0,85 / 0,98	0,90 / 0,98
Vidro incolor	0,06 / 0,25	0,84
Vidro colorido	0,40 / 0,80	0,84
Vidro metalizado	0,35 / 0,80	0,15 / 0,84
Pintura:		
Branca	0,20	0,90
Amarela	0,30	0,90
Verde clara	0,40	0,90
"Alumínio"	0,40	0,50
Verde escura	0,70	0,90
Vermelha	0,74	0,90
Preta	0,97	0,90

Fonte: NBR 15220-2 (2005, p. 12)

Observa-se na Tabela 3 os valores de absortividade e emissividade de alguns materiais que estão presentes no estudo de caso do presente trabalho.

A equação 3, para planos horizontais (coberturas), da carga térmica gerada fica:

$$\Phi = U * A * (t_e + \alpha * RS * Rse - 4 - t_i) \quad (3)$$

Sendo:

- Φ : fluxo de calor (W).
- U: Transmitância térmica ($W/m^2 \cdot ^\circ C$).
- Rse: resistência superficial externa ($(m^2 \cdot K)/W$).
- RS: radiação solar (W/m^2).
- A : área da superfície (m^2).
- t_e : temperatura externa ($^\circ C$).
- α : absortividade.
- t_i : temperatura interna ($^\circ C$).

Para planos verticais, a equação do fluxo de calor fica:

$$\phi = U * A * (te + \alpha * RS * Rse - ti) \quad (4)$$

A resistência superficial externa pode ser conferida seguindo os valores da Tabela 4.

Tabela 4 - Resistência térmica superficial interna e externa

R_{si} ($m^2 \cdot K$)/W			R_{se} ($m^2 \cdot K$)/W		
Direção do fluxo de calor			Direção do fluxo de calor		
Horizontal	Ascendente	Descendente	Horizontal	Ascendente	Descendente
⇒	— ↑	— ↓	⇒	— ↑	— ↓
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

Fonte: NBR 15220-2 (2003, p. 10).

Para o cálculo total da insolação (Q_{ins}) deve-se somar os valores de radiação encontrados ao longo do dia de acordo com as equações 3 e 4.

2.6.2 Carga térmica devido a condução

Segundo a NBR 15220-2 (2005, p. 3) a resistência térmica (R) pode ser calculada utilizando a equação 5. Além disso, a transmitância térmica dos componentes é calculada utilizando a o inverso da resistência total conforme a equação 6:

$$R = \frac{e}{k} \quad (5)$$

$$U = \frac{1}{R} \quad (6)$$

Em que:

- e : espessura (m).
- R : resistência térmica ($m^2 \cdot ^\circ C/W$).
- k : condutividade térmica ($W/m^\circ C$).
- U : Coeficiente global de transferência de calor ($W/m^2 \cdot ^\circ C$).

Segundo Incropera (2014, p. 224):

Circuitos térmicos equivalentes também podem ser usados em sistemas mais complexos, como, por exemplo, paredes compostas. Tais paredes podem possuir uma quantidade qualquer de resistências térmicas em série e em paralelo, devido à presença de camadas de diferentes materiais.

A Figura 5 ilustra resistências dispostas em série.

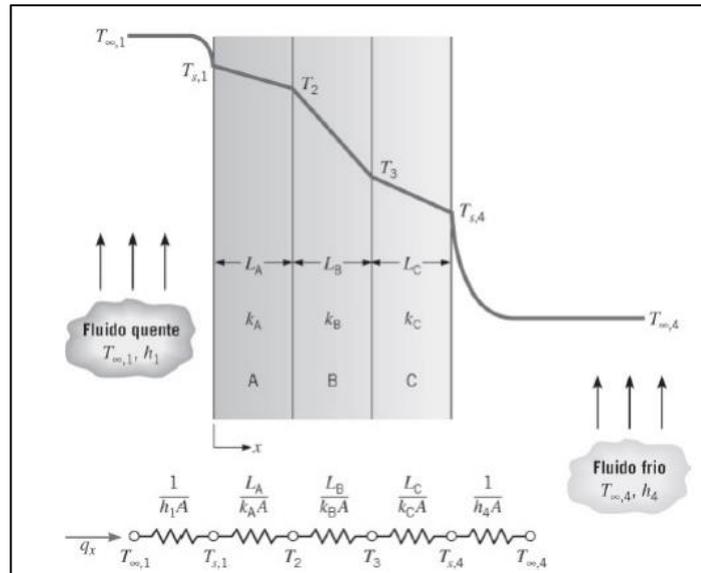


Figura 5 - Circuito térmico equivalente para uma parede composta em série.
Fonte: Incropera, 2014

Logo, para o cálculo das resistências em série pode-se utilizar a equação 7:

$$R_{tot} = \sum R_T = \frac{\Delta T}{q} = \frac{1}{UA} \quad (7)$$

Em que:

- R_T : Resistência total;
- q : taxa de transferência de calor.

A Tabela 5 apresenta o calor específico (c) e a condutividade térmica (λ) em função da densidade aparente para diversos materiais de construção.

Tabela 5 - Densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica

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

Fonte: Adaptado de NBR 15220-2 (2003)

2.6.3 Carga térmica devido as pessoas

Creder (2004, p. 99) diz que:

Se submetido à atividade física violenta, o corpo humano pode emitir até cinco vezes mais calor do que em repouso. Considerando-se que a temperatura média normal de uma pessoa é de 37°C (98,6°F), verifica-se experimentalmente que quanto maior é a temperatura externa, maior é a quantidade de calor latente emitida, e quanto menor esta temperatura, maior é o calor sensível. Isso pode ser explicado do seguinte modo: o organismo humano possui um mecanismo termostático que, atuando sobre o metabolismo, mantém a temperatura do corpo aproximadamente constante, embora variem as condições externas. Se a temperatura exterior é superior a 37°C (98,6°F), o calor é transferido do exterior para o corpo, e isso provoca a transpiração e em consequência a eliminação de vapor d'água pela respiração, adicionando apenas calor latente ao ar. Se a temperatura exterior é inferior a 15,6°C (60°F), a transferência de calor se dá do corpo para o ambiente, porém somente na forma de calor sensível. Entre essas

temperaturas externas, ou seja, entre 15,6°C e 37°C, o corpo humano emite calor sensível e calor latente ao ambiente, mantendo constante o calor total.

A Figura 6 mostra os valores do calor liberado pelas pessoas em função da temperatura e da atividade.

Nível de atividade	Local	Calor total (W)		Calor Sensível (W)	Calor latente (W)	% Radiante do calor sensível	
		Homem adulto	Ajustado M/F ^a			Baixa velocidade do ar	Alta velocidade do ar
Sentado no teatro	Teatro matinê	115	95	65	30		
Sentado no teatro, noite	Teatro noite	115	105	70	35	60	27
Sentado, trabalho leve	Escritórios, hotéis, apartamentos	130	115	70	45		
Atividade moderada em trabalhos de escritório	Escritórios, hotéis, apartamentos	140	130	75	55		
Parado em pé, trabalho moderado; caminhando	Loja de varejo ou de departamentos	160	130	75	55	58	38
Caminhando, parado em pé	Farmácia, agência bancária	160	145	75	70		
Trabalho sedentário	Restaurante ^b	145	160	80	80		
Trabalho leve em bancada	Fábrica	235	220	80	140		
Dançando moderadamente	Salão de baile	265	250	90	160	49	35
Caminhando 4,8 km/h; trabalho leve em máquina operatriz	Fábrica	295	295	110	185		
Jogando boliche ^c	Boliche	440	425	170	255		
Trabalho pesado	Fábrica	440	425	170	255	54	19
Trabalho pesado em máquina operatriz; carregando carga	Fábrica	470	470	185	285		
Praticando esportes	Ginásio, academia	585	525	210	315		

NOTA 1 Valores baseados em temperatura de bulbo seco ambiente de 24 °C. Para uma temperatura de bulbo seco ambiente de 27 °C, o calor total permanece o mesmo, porém o calor sensível deve ser reduzido em aproximadamente 20 %, e o calor latente aumentado correspondentemente. Para uma temperatura de bulbo seco ambiente de 21 °C, também o calor total permanece o mesmo, porém o calor sensível deve ser aumentado em aproximadamente 20 %, e o calor latente reduzido correspondentemente.

NOTA 2 Valores arredondados em 5 W.

^a O valor do calor ajustado é baseado numa porcentagem normal de homens, mulheres e crianças para cada uma das aplicações listadas, postulando-se que o calor liberado por uma mulher adulta é aproximadamente 85 % daquele liberado por um homem adulto, e o calor liberado por uma criança é aproximadamente 75 % daquele liberado por um homem adulto.

^b O ganho de calor ajustado inclui 18 W para um prato de comida individual (9 W de calor sensível e 9 W latente).

^c Considerando uma pessoa por cancha realmente jogando boliche, e todas as demais sentadas (117 W), paradas em pé ou caminhando lentamente (231 W).

Figura 6 - Calor liberado por pessoas (kcal/h)

Fonte: NBR 16401-1, 2008, pág. 53

Para o cálculo do calor latente e sensível deve-se usar as equações 8 e 9.

$$Q_{latente} = N \cdot S1 \quad (8)$$

$$Q_{sensível} = N \cdot S2 \quad (9)$$

Em que:

N = Número de pessoas;

S1 = Calor latente liberado pelos ocupantes.

S2= Calor sensível liberado pelos ocupantes.

$$Q_{pessoas} = Q_{latente} + Q_{sensivel} \quad (10)$$

2.6.4 Carga térmica devido a equipamentos

Segundo Macintyre (1990) quando equipamentos são instalados em recintos onde a ventilação natural é deficiente torna-se necessário realizar a remoção do calor sensível excessivo por meio de ventilação mecânica. Ainda segundo o autor, instalações como compressores, motores, bombas e caldeiras podem causar essa situação.

Para o cálculo do ganho de calor devido a presença dos veículos no recinto foi utilizada a Figura 7.

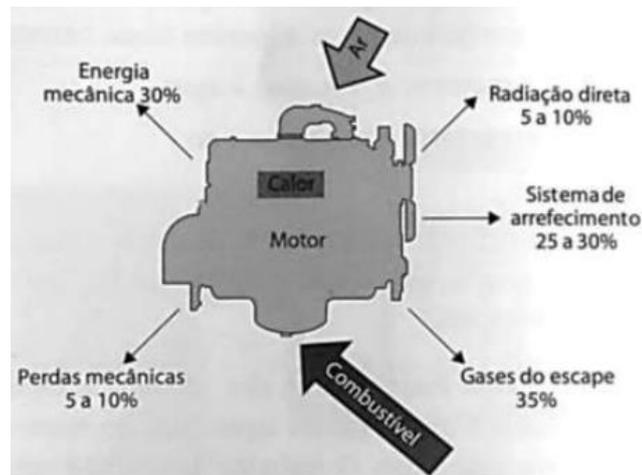


Figura 7 - Fluxo de massa e calor em um motor de combustão interna
Fonte: Brunetti, 2012.

A figura 7 representa o fluxo de massa e energia em um motor de combustão interna com base no ciclo *Otto*. Nota-se que há perdas por radiação, mecânica, nos gases de escape e no sistema de arrefecimento. Logo, a energia mecânica do trabalho produzido é de cerca de 30% do total produzido.

Para o cálculo da energia proveniente do motor em *Watts* é utilizada a equação 11.

$$Q_{equip} = P_m * 745,7 \quad (11)$$

Em que:

Q_{equip} : Carga térmica devido aos equipamentos (motor) *Watts*;

P_m : Potência dissipada pelo equipamento em HP;

745,7 : Fator de conversão HP para W.

Para o cálculo da energia do combustível é utilizada a equação 12.

$$Q_{comb} = \frac{Q_{equip}}{N1} \quad (12)$$

Em que:

Q_{comb} : Energia do combustível em *Watts*.

N1: eficiência do motor a diesel.

As perdas por radiação e convecção representam 5% enquanto os gases de escape ocasionam uma perda de energia de 35%.

2.6.5 Carga térmica total

Fazendo o somatório da carga térmica devida à insolação, pessoas e equipamentos tem-se a carga térmica total desta área ventilada.

$$Q_T = Q_{ins} + Q_{pessoas} + Q_{equip} \quad (13)$$

2.7 Vazão para a retirada de calor sensível

Clezar e Nogueira (2005, p. 68) diz que:

A ventilação geral diluidora também pode ser utilizada para ventilar salas de transformadores, salas de caldeiras e outros ambientes com grande desprendimento e calor. Neste caso, o balanço de energia é efetuado para se determinar a vazão e ar a ser insuflada para a remoção de calor sensível apenas.

Logo, é possível encontrar a vazão necessária utilizando a equação 14.

$$Q_e = \frac{Q_T}{\rho * Cp * \Delta T} \quad (14)$$

Onde:

- Q_t : calor máximo no recinto / carga térmica (W);
- ρ_e : massa específica do ar externo (kg/m^3);
- C_p : calor específico a pressão constante ($\text{kJ}/\text{kg}\cdot^\circ\text{C}$);

- ΔT : variação de temperatura entre o ambiente interno e externo em Celsius.

2.8 Exaustão eólica

Para esses dispositivos, Valdiero e Thesing (2016, p. 204) define que:

Exaustores eólicos são um tipo de exaustor impulsionado pela força do vento e pela diferença de temperatura entre o interior e exterior de um prédio (convecção térmica). Teoricamente, renovam a massa de ar quente contida em um ambiente, aproximando a temperatura interna da externa. Dispensam o uso de motores elétricos.

Ainda segundo Valdiero e Thesing (2016), o funcionamento de um exaustor se dá pelo vento que incide sobre as palhetas do rotor, promovendo o giro do mesmo. Há uma pequena queda de pressão em seu interior ajudando a succionar a massa de ar quente, fumaça, partículas em suspensão e gases tóxicos.



Figura 8 - Exaustor eólico
FONTE: Ventcenter (2022).

Conforme Thesing e Valdiero (2016), os exaustores eólicos abaixam a temperatura e melhoram a qualidade do ar. Na ausência de vento o equipamento funciona apenas por convecção térmica. A massa de ar quente desloca-se na direção do exaustor por ser mais leve exercendo pressão no rotor, capaz de movimentá-lo.

Para o cálculo da quantidade de exaustores eólicos necessários, basta utilizar a equação 15 que consiste em dividir a vazão total necessária ($Q_{m\acute{a}x}$) pela capacidade do equipamento (Q_{exaus}).

$$\text{Quantidade de exaustores} = \frac{Q_{m\acute{a}x}}{Q_{exaus}} \quad (15)$$

Segundo a RioFlux (online, s/p):

Os exaustores eólicos são instalados em tetos ou telhados de armazéns, depósitos, indústrias, fábricas, escolas, quadras poliesportivas e galpões diversos. Uma de suas maiores vantagens é a capacidade de serem instalados em variados tipos de superfícies. Esta característica torna as Vendas e Instalações de exaustores eólicos um benefício para os segmentos que necessitam de sua utilização. Além desses benefícios, os globos girantes ainda são altamente resistentes, duráveis e com uma manutenção simples.

A Figura 9 ilustra um exemplo de instalação de exaustores eólicos em uma cobertura.



Figura 9 - Instalação de exaustores eólicos
Fonte: Rioflux (2022).

Na Figura 9 é possível observar que os exaustores eólicos estão dispostos em duas fileiras na parte central da cobertura de um recinto.

A Figura 10 demonstra os efeitos do ar causados pelos exaustores eólicos dentro do recinto.

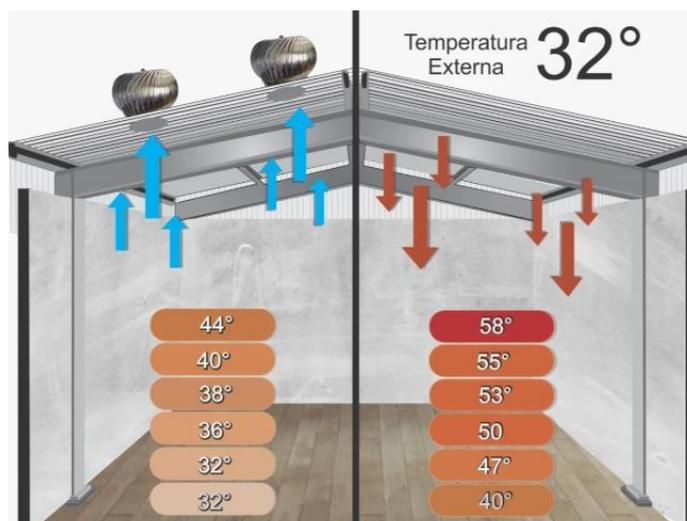


Figura 10 - Exemplo dos efeitos dos exaustores
Fonte: Mercado Livre, (2022).

A Figura 10 também ilustra a comparação do mesmo local sem o uso de exaustores e pode-se notar que o fluxo de ar não é o ideal além da temperatura se manter elevada. Com a presença dos exaustores, o ar quente que é gerado pelas cargas térmicas é exaurido pela cobertura diminuindo a temperatura interna. Por outro lado, quando não há exaustores, o ar quente não é expulso do ambiente, causando o aumento da temperatura e a não renovação total.

2.9 Isolamento térmico – Poliestireno expandido (EPS)

Segundo a Airpop (online, s/p):

A propriedade mais importante do EPS é a sua capacidade de resistir à passagem do calor. Tal deve-se à sua estrutura celular, que é constituída por muitos milhões de células fechadas com diâmetros de alguns décimos de milímetro e com paredes de 1 mm. Esta espuma é composta aproximadamente por 2% de poliestireno e 98% de ar. O fator decisivo para a boa capacidade de isolamento térmico do EPS é o de manter, permanentemente, uma grande quantidade de ar, quase imóvel, dentro das suas células.

De acordo com *thermal engineering* (online, s/p):

Condutividade térmica é definida como a taxa de transferência de calor (em *Watts*) transferida através de uma área quadrada de material de determinada espessura (em metros) devido a uma diferença de temperatura. Quanto menor a condutividade térmica do material, maior a capacidade do material de resistir à transferência de calor e, portanto, maior a eficácia do isolamento. Os valores típicos de condutividade térmica para o poliestireno expandido são entre 0,030 e 0.040W / m K.

A Figura 11 apresenta um exemplo de instalação do isolante na parte interna de uma cobertura.



Figura 11 - Instalação EPS
Fonte: *Thermal engineering* (2022).

De acordo com a Figura 11 as placas são colocadas nessa posição para que fiquem protegidas do intemperismo e aumentem sua durabilidade.

3 METODOLOGIA

No presente capítulo é apresentado o tipo de pesquisa utilizado, quais os materiais e métodos aplicados na coleta de dados juntamente com os indicadores e as variáveis. Além disso, foi apresentado o *software* para a tabulação de dados e, por fim, as considerações finais.

3.1 Tipos de pesquisa

Pode-se definir pesquisa como o procedimento racional e sistemático que tem como objetivo proporcionar respostas aos problemas que são propostos. A pesquisa é requerida quando não se dispõe de informação suficiente para responder ao problema, ou então quando a informação disponível se encontra em tal estado de desordem que não possa ser adequadamente relacionada ao problema (GIL, 2002).

Conforme Gil (2002), para facilitar o acompanhamento das ações de uma pesquisa é necessário criar etapas para o desenvolvimento do projeto. O autor ressalta que a ordem dessas etapas não é absolutamente rígida e, em muitos casos, é possível simplificá-las ou modificá-las. Tal decisão cabe ao pesquisador que pode adaptá-las as situações específicas. A Figura 12 apresenta as etapas propostas em literatura.

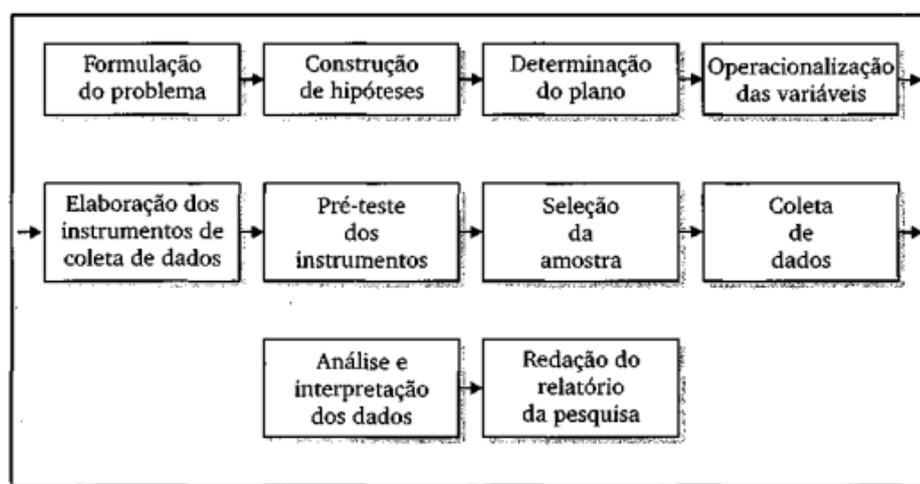


Figura 12 - Diagramação da pesquisa
FONTE: GIL, 2002

Segundo Menezes e Silva (2001) tudo o que é quantificável, ou seja, que pode ser transformado em números, opiniões e informações que podem ser classificadas e analisadas é considerado como pesquisa quantitativa. Além disso, requerem o uso de recursos estatísticos como percentagem, média, moda desvio-padrão, mediana etc.

Já para pesquisa qualitativa, Menezes e Silva (2001) cita que há uma relação dinâmica entre o mundo real e o sujeito. Ou seja, um vínculo indissociável entre o mundo objetivo e a

subjetividade do sujeito que não pode ser traduzido em números. A interpretação dos fenômenos e a atribuição de significados são básicas no processo de pesquisa qualitativa. Não requer o uso de métodos e técnicas estatísticas. O ambiente natural é a fonte direta para coleta de dados e o pesquisador é o instrumento-chave.

Para Gil (2002) é usual classificar as pesquisas com base em seus objetivos gerais. Logo, o autor as define em três grandes grupos: exploratórias, descritivas e explicativas.

Gil (2002) define o objetivo de a pesquisa exploratória proporcionar maior familiaridade com o problema, tornando-o mais explícito e construir hipóteses. Aprimorar ideias e descobrir intuições são considerados suas principais motivações. Logo, seu planejamento é bastante flexível e permite a consideração dos mais variados aspectos relativos ao fato estudado.

Por outro lado, Gil (2002) define a pesquisa descritiva como a descrição das características de determinada população ou fenômeno ou, então, o estabelecimento de relações entre variáveis. Para o autor, uma de suas características mais significativas está na utilização de técnicas padronizadas de coleta de dados, tais como o questionário e a observação sistemática.

Entre as pesquisas descritivas, salientam-se aquelas que têm por objetivo estudar as características de um grupo: sua distribuição por idade, sexo, procedência, nível de escolaridade, estado de saúde física e mental etc. Outras pesquisas deste tipo são as que se propõem a estudar o nível de atendimento dos órgãos públicos de uma comunidade, as condições de habitação de seus habitantes, o índice de criminalidade que aí se registra etc. São incluídas neste grupo as pesquisas que têm por objetivo levantar as opiniões, atitudes e crenças de uma população. Também são pesquisas descritivas aquelas que visam descobrir a existência de associações entre variáveis, como, por exemplo, as pesquisas eleitorais que indicam a relação entre preferência político-partidária e nível de rendimentos ou de escolaridade (GIL, 2002).

Por fim, Gil (2002) define as pesquisas explicativas como a preocupação central identificar os fatores que determinam ou que contribuem para a ocorrência dos fenômenos. É a que mais aprofunda o conhecimento da realidade por explicar a razão e o porquê das coisas. Devido a este fato, é o tipo mais complexo e delicado, uma vez que o risco de se cometer erros é consideravelmente alto. O autor frisa que o conhecimento teórico é assentado nos resultados oferecidos pelos estudos explicativos. Porém, isso não significa que as pesquisas exploratórias

e descritivas possuem menor valor, uma vez que na maioria das vezes constituem etapa indispensável para as soluções científicas.

O presente trabalho é classificado com pesquisa quantitativa por realizar cálculos numéricos a partir dos parâmetros do recinto escolhido para a aplicação do projeto de ventilação. Além disso, os resultados são expressos numericamente e podem ser representados em tabelas e gráficos. Por outro lado, também se caracteriza como uma pesquisa exploratória devido as análises realizadas no recinto para a definição das características físicas e geográficas.

3.2 Materiais e métodos

Após a definição do problema, este trabalho apresenta um estudo bibliográfico com o objetivo de mostrar os conceitos sobre ventilação em ambientes fechados com algum processo industrial. A partir desses conceitos, é realizado o cálculo analítico com as informações características do recinto para a obtenção da carga térmica total, seleção dos sistemas de ventilação e isolamento térmico adequados.

Para a definição das etapas da pesquisa foi utilizado o fluxograma ilustrado na Figura 13 a partir de Gil (2002).

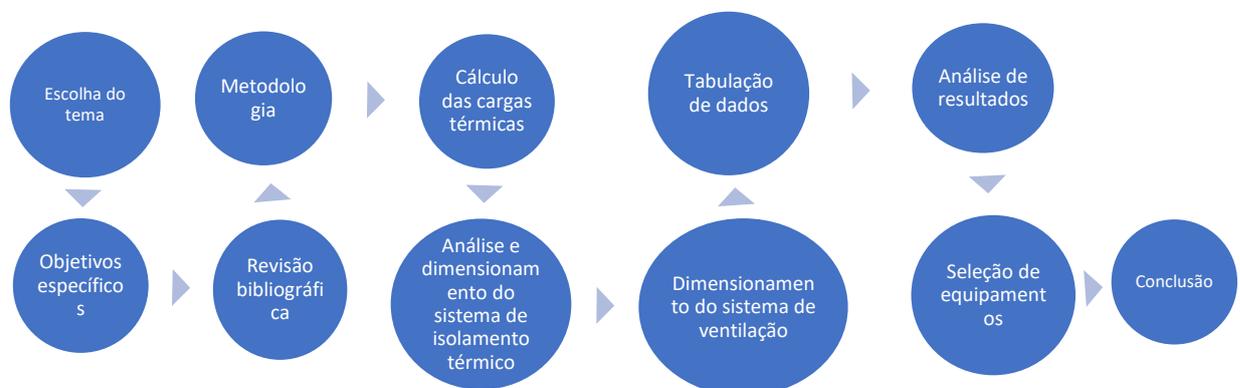


Figura 13 - Diagrama de etapas da pesquisa
 FONTE: Pesquisa direta, 2022

De acordo com o diagrama de etapas proposto, primeiramente é escolhido o tema para o presente trabalho. Logo após, são definidos os objetivos em propor um ambiente propício para a atividade industrial presente no recinto. Para o embasamento teórico no cálculo das cargas térmicas é realizada uma revisão bibliográfica. Posteriormente é realizada a coleta de dados para a aplicação da tabulação de dados e, com isso, realizar o dimensionamento do sistema de ventilação e isolamento térmico, análise de resultados, seleção de equipamentos e, por fim, a conclusão.

3.3 Instrumento de coleta de dados

Para esta etapa, foi realizada a revisão bibliográfica para a seleção dos parâmetros físicos e geográficos necessários. Basicamente é necessário coletar todas as informações fundamentais para a realização dos cálculos das cargas térmicas e, com isso selecionar o sistema de ventilação e isolamento mais adequado.

A natureza da revisão bibliográfica é exploratória além de utilizada literatura específica sobre o tema a partir de livros, artigos e monografias.

3.4 Variáveis e indicadores

O termo variável é dos mais empregados na linguagem utilizada pelos pesquisadores. Seu objetivo é o de conferir maior precisão aos enunciados científicos, sejam hipóteses, teorias, leis, princípios ou generalizações (GIL, 2002).

O conceito de variável refere-se a tudo aquilo que pode assumir diferentes valores ou diferentes aspectos, segundo os casos particulares ou as circunstâncias. Assim, idade é uma variável porque pode abranger diferentes valores (GIL, 2002).

Para a primeira, foram definidos os indicadores que possuem características relevantes para a coleta de dados. A segunda variável apresenta a etapa do projeto onde os parâmetros físicos e geográficos já foram definidos.

As variáveis são definidas de acordo com cada objetivo. Ou seja, é necessário selecionar indicadores específicos para cada uma. A Tabela 6 apresenta as variáveis e indicadores apresentados no projeto de acordo com um número aceitável de características que devem ser analisadas ao se dimensionar o sistema de ventilação para o recinto. As variáveis selecionadas foram carga térmica e ventilação.

Tabela 6 - Variáveis e Indicadores

Variáveis	Indicadores
Carga Térmica	Insolação
	Condução
	Isolante térmico
	Atividade exercida no recinto
	Posição geográfica
	Equipamentos internos
Ventilação e isolamento	Vazão de ar
	Equipamentos

FONTE: Pesquisa direta (2022)

3.5 Tabulação de dados

Para a tabulação de dados foi utilizado o *software Microsoft Excel* por proporcionar precisão e facilidade na montagem dos cálculos, diminuindo a probabilidade de erros. Além disso, foi utilizado o *software Radiasol* para obtenção de dados solares do recinto.

4 RESULTADOS

O objetivo do presente capítulo é mostrar os cálculos realizados e os resultados obtidos para o dimensionamento de um sistema de ventilação utilizando exaustores eólicos em um galpão de armazenamento de produtos diversos e atividade de carga e descarga.

4.1.1 Características do recinto

Um galpão com atividades laborais diversas apresenta *déficit* de ventilação em seu interior. O sistema de ventilação deve ser dimensionado para garantir a temperatura ideal de trabalho, eliminação de odores provenientes dos produtos armazenados e emissão de fumaça devido a presença de caminhões para carga e descarga.

A Figura 14 e Figura 15 ilustram sob ângulos diferentes o recinto onde o dimensionamento do sistema de ventilação é necessário.



Figura 14 - Recinto de estudo
Fonte: Pesquisa direta, 2022.



Figura 15 - Local de estudo por outro ângulo
Fonte: Pesquisa direta, 2022.

As paredes do galpão são construídas com tijolo furado de 9 furos e reboco pelo lado de fora, enquanto o telhado é montado com telhas de zinco com 5 milímetros de espessura. A Tabela 7 mostra a área de cada parede de acordo com seu sentido.

Tabela 7 - Orientação e área de cada superfície

Superfície	Orientação	Área
Parede	Oeste	152,40 ^(m²)
Parede	Leste	152,40
Parede	Norte	120,00
Parede	Sul	120,00

Fonte: Pesquisa direta, 2022.

A Figura 16 representa o galpão em formato 3D de acordo com as características reais de construção.

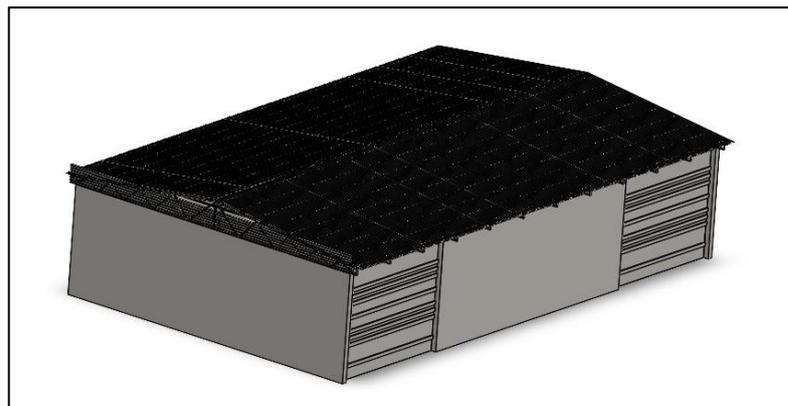


Figura 16 - Galpão 3D
Fonte: Pesquisa direta, 2022.

De acordo com a planta baixa do galpão representada na Figura 17, é possível observar a medida das paredes e dos portões em metros.

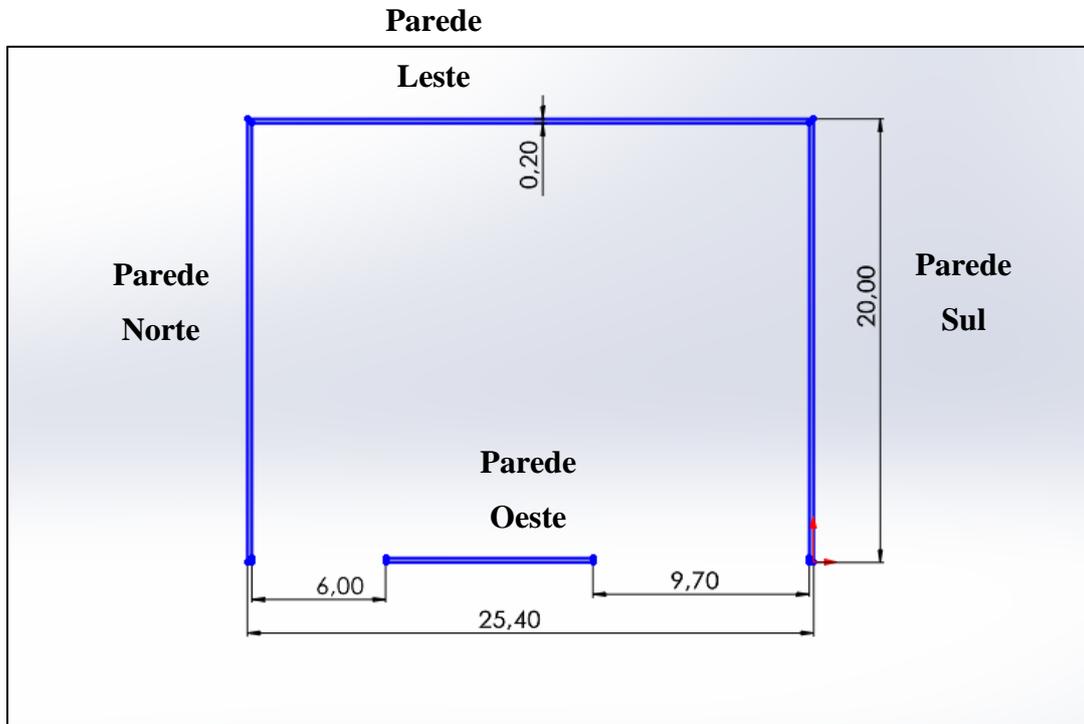


Figura 17 - Dimensões do galpão
Fonte: Pesquisa direta, 2022.

4.2 Características da cidade

O galpão está localizado na cidade de Carmópolis de Minas – MG cuja latitude é de $-20^{\circ} 52'$ Sul e longitude de $-44^{\circ} 64'$ Oeste, segundo o CRESESB. Para a obtenção dos dados solarimétricos das horas do dia com maior insolação no ano foi utilizado o software Radiasol.

A cidade mais próxima do local do projeto e que consta na base de dados do programa é Oliveira – MG. Para efeito de comparação, foi analisada a insolação máxima das duas cidades como ilustra a Figura 18.

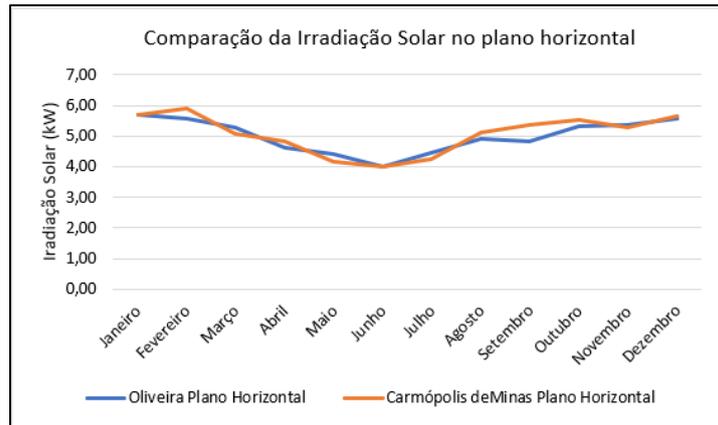


Figura 18 - Comparação da irradiação solar no plano horizontal
Fonte: Pesquisa direta, 2022.

Observa-se na Figura 18 que os dados são bastante semelhantes, sendo possível a utilização do *software* desenvolvido pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

A interface do *software* na Figura 19 mostra a irradiação solar mensalmente e, pode-se notar que o mês com maior incidência solar foi janeiro, sendo este o escolhido como parâmetro do projeto.

Selecione um país e uma estação

País:

Estação:

Latitude: N/S: Longitude: E/W:

JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
5,69	5,56	5,28	4,61	4,42	4,00	4,44	4,92	4,83	5,31	5,36	5,58

Radiação em kWh/m²

Selecione um país e uma estação

Figura 19 - Interface Radasol
Fonte: Pesquisa direta, 2022.

Como o objetivo de analisar as temperaturas durante o ano, são obtidas as temperaturas mínimas e máximas a partir de uma série de dados de 30 anos observados conforme a Figura 20.

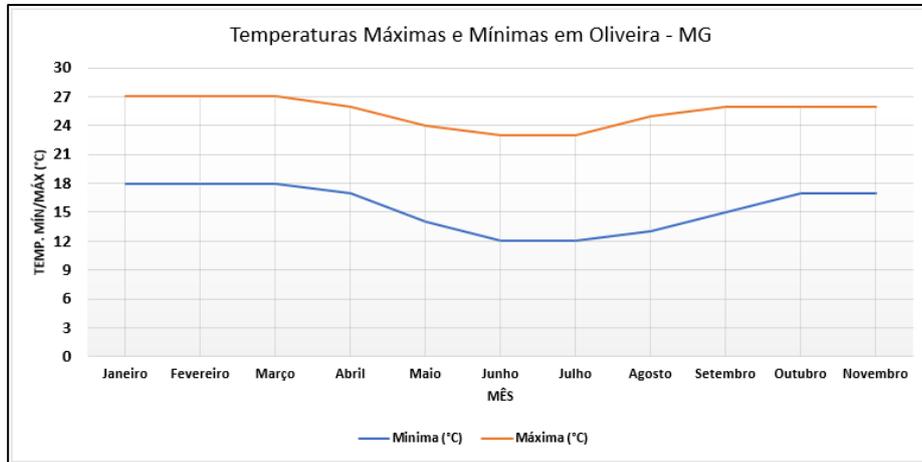


Figura 20 - Temperaturas máximas e mínimas em Oliveira – MG
Fonte: Pesquisa direta, 2022.

A Figura 20 mostra que janeiro e fevereiro apresentaram as maiores médias máximas. Como a maior insolação é no primeiro mês do ano como afirma a Figura 21, ele será o utilizado para os cálculos de penetração de irradiação solar no recinto. Ainda segundo a Figura 20, a temperatura máxima é de 27° C sendo essa utilizada no projeto.

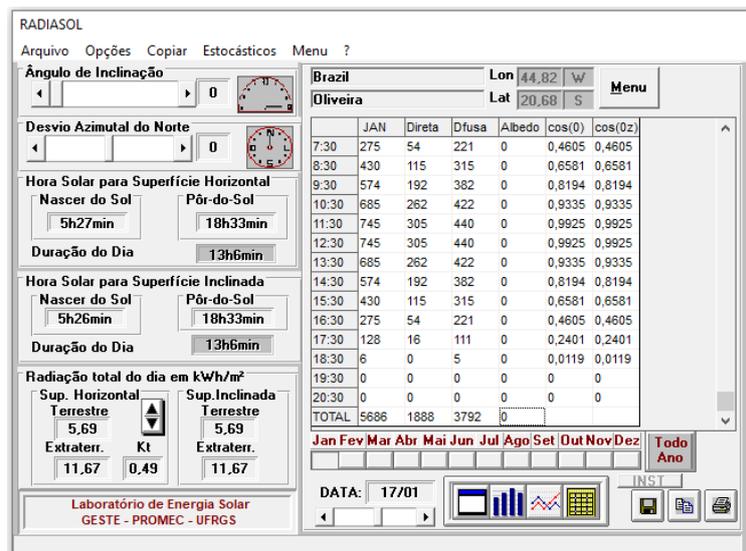


Figura 21 - Irradiação ao longo do dia mais quente do ano
Fonte: Pesquisa direta, 2022.

Segundo os dados do *software* Radiasol observou-se que no dia 17 de janeiro ocorreu a maior radiação do ano, conforme a Figura 21. Pode-se observar na Figura 21 a interface do *software* onde é possível escolher a orientação da superfície e o ângulo de inclinação dela.

Alterando o ângulo e orientação da placa, é possível encontrar a radiação solar nos planos de acordo com a hora, conforme a Tabela 8.

Tabela 8 - Radiação em cada plano por hora (W/m^2)

Radiação em cada plano por hora					
Hora	Plano Horizontal	Plano vertical norte	Plano Vertical Sul	Plano Vertical Leste	Plano Vertical Oeste
05:30	6	3	3	3	3
06:30	128	65	85	136	73
07:30	275	125	149	242	142
08:30	430	175	198	319	189
09:30	574	211	228	349	216
10:30	686	233	241	334	234
11:30	745	244	246	281	244
12:30	745	244	246	244	281
13:30	685	233	241	234	334
14:30	574	211	228	216	349
15:30	430	175	198	189	319
16:30	275	125	149	142	242
17:30	128	65	85	73	136
18:30	6	3	3	3	3

Fonte: Pesquisa direta, 2022.

É possível observar a intensidade das radiações para cada plano por hora no dia 17 de janeiro na Tabela 8. Com esses dados, pode-se definir o quanto de calor penetra no recinto devido a insolação.

Para o cálculo da quantidade necessária de exaustores eólicos é necessário encontrar a velocidade média dos ventos no local do projeto. Figura 22 ilustra os ventos médios em área ampla a 10 metros do solo.

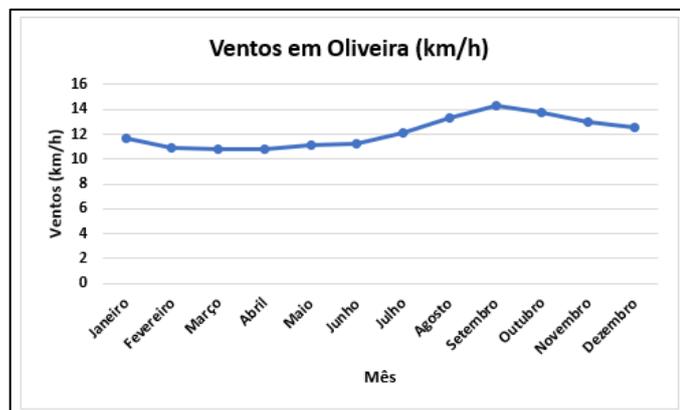


Figura 22 - Ventos ao longo do ano em Oliveira – MG
Fonte: Pesquisa direta, 2022.

Nota-se segundo a Figura 22, que os ventos variam entre 10 e 14 km/h durante todo o ano.

4.3 Cálculo da carga térmica

4.3.1 Irradiação solar

O recinto apresenta alta temperatura devido ao ganho de calor na cobertura, paredes e equipamentos em seu interior. De acordo com a Figura 20 a temperatura máxima em Oliveira - MG foi de 27°C e na parte interna do galpão foi considerado 30°C para o cálculo do ganho de calor pela irradiação solar.

Vale ressaltar que a parede Norte não recebe irradiação solar devido a parede neste sentido ser conurbada com outro galpão, sendo ela assim desconsiderada nos cálculos. A Tabela 9 apresenta os materiais das paredes e da cobertura juntamente ao isolante térmico proposto.

Tabela 9 - Propriedades térmicas dos materiais

Material	Espessura (m)	k (W/m ² ·K)	Resistência ((K·m) / W)
Tijolo	0,15	0,65	0,23
Reboco	0,05	0,20	0,25
Zinco	0,005	110,00	0,000045
EPS (Isopor)	0,05	0,0400	1,25
R _{tijolo + reboco}	0,01	-	0,48

Fonte: Pesquisa direta, 2022.

Para o cálculo da resistência total dos tijolos e do reboco assim como das telhas de zinco e do isolante térmico foi utilizado o método em série devido ao seu posicionamento. A Tabela 10 apresenta a orientação, área, transmitância térmica e absorvidade de cada parede e da cobertura.

Tabela 10 - Superfície, Área, transmitância térmica e absorvidade

Superfície	Orientação	Área	U (W/(m ² *K))	α
Parede	Oeste	152,40	2,1	0,95
Parede	Leste	152,40	2,1	0,95
Parede	Norte	-	-	-
Parede	Sul	120,00	2,1	0,95
Zinco	Horizontal	510,00	22000,00	0,80
Isopor	Horizontal	510,00	0,80	0,80
Telhado	Horizontal	510,00	0,80	0,80

Fonte: Pesquisa direta, 2022.

Utilizando os valores de radiação solar (RS) provenientes do *software* Radiasol para cada plano da Tabela 8 e os valores da resistência térmica superficial externa (R_{se}) da Tabela 4 e aplicando as equações 3 e 4 obteve-se os valores da taxa de transferência de calor nas paredes e na cobertura. A Tabela 11 apresenta esses valores e o somatório de cada plano de acordo com a hora do dia.

Tabela 11 - Cálculo da insolação

Insolação em W					
Hora	Teto com isolante	Parede Sul	Parede Oeste	Parede Leste	Total
6:30	-1184,79	57,41	-71,64	687,24	-511,78
7:30	734,37	664,44	759,51	1964,08	4122,40
8:30	2757,98	1129,19	1325,66	2891,60	8104,43
9:30	4637,98	1413,73	1650,89	3252,97	10955,58
10:30	6100,19	1537,04	1867,72	3072,29	12577,23
11:30	6870,47	1584,46	1988,17	2433,86	12876,97
12:30	6870,47	1584,46	2433,86	1988,17	12876,97
13:30	6087,14	1537,04	3072,29	1867,72	12564,18
14:30	4637,98	1413,73	3252,97	1650,89	10955,58
15:30	2757,98	1129,19	2891,60	1325,66	8104,43
16:30	734,37	664,44	1964,08	759,51	4122,40
17:30	-1184,79	57,41	687,24	-71,64	-511,78

Fonte: Pesquisa direta, 2022.

4.3.2 Pessoas

A pesquisa realizada para a obtenção dos parâmetros do recinto revelou que há 15 trabalhadores exercendo atividade pesada durante todo o dia. De acordo com a Figura 6, o calor latente liberado para este tipo de atividade para cada pessoa é de 255 W e o calor sensível é de 170 W.

A Tabela 12 apresenta o calor sensível, latente e a soma dos dois que representa o total liberado multiplicado pelo número de pessoas em *Watts*.

Tabela 12 - Calor sensível, latente e total

Calor sensível (W)	Calor latente (W)	Calor Total (W)
2550	3825	6375

Fonte: Pesquisa direta, 2022.

4.3.3 Equipamentos

Como não é possível determinar um padrão do fluxo de veículos durante o dia dentro do recinto, mas sabe-se que a todo tempo há caminhões chegando e saindo, foi considerado um veículo modelo *Mercedes Benz* com 185 HP de potência conforme a Figura 23, ligado durante 15 minutos por hora dia irradiando calor.

Motor	
Modelo	MB OM 924 LA (Proconve P-7)
Cilindros e arranjo	4 cilindros, vertical em linha, turbocooler
Volume [L]	4,8
Sist. Pós-tratamento	Redução Catalítica Seletiva de Nox (SCR)
Potência máxima	136 kW (185 cv) a 2.200 rpm
Torque máximo	700 Nm (71,4 mkgf) de 1.200 a 1.600 rpm
Unidades injetoras	Individuais com injeção direta
Polia Adicional AC	Sim

Figura 23 - Dados técnicos do veículo modelo
Fonte: *Mercedes Benz*, 2022.

Para o cálculo do ganho de calor devido aos veículos são calculadas as cargas térmicas liberadas pelos gases de escape e radiação. Além disso, são representadas a potência, a energia proveniente do motor e a porcentagem do tempo ligado durante o dia.

Tabela 13 - Carga térmica devido a caminhões

Carga térmica devido a caminhões		Unidades
Potência	185	HP
Eficiência mecânica	35%	%
Energia proveniente do motor	137954,50	W
Energia do combustível	394155,71	W
Calor liberado por radiação	6897,73	W
Calor liberado pelos gases de escape	137954,50	W
Tempo ligado (%)	25%	W
Calor liberado considerando o tempo ligado	36213,06	W

Fonte: Pesquisa direta, 2022.

O calor liberado considerando o tempo que os veículos permanecem ligados dentro do recinto é calculado pela soma da radiação emitida e dos gases de escape representando 36213,06 W, conforme Tabela 13.

4.4 Carga térmica total

A carga térmica total que incide no recinto é a soma das cargas anteriormente calculadas. A Tabela 14 apresenta o somatório em cada hora do dia.

Tabela 14 - Carga térmica total

CARGA TÉRMICA (W)				
Hora	Irradiação	Pessoas	Qequip	Total
6:30	-511,78	6375,00	36213,06	42076,27
7:30	4122,40	6375,00	36213,06	46710,46
8:30	8104,43	6375,00	36213,06	50692,49
9:30	10955,58	6375,00	36213,06	53543,63
10:30	12577,23	6375,00	36213,06	55165,29
11:30	12876,97	6375,00	36213,06	55465,03
12:30	12876,97	6375,00	36213,06	55465,03
13:30	12564,18	6375,00	36213,06	55152,24
14:30	10955,58	6375,00	36213,06	53543,63
15:30	8104,43	6375,00	36213,06	50692,49
16:30	4122,40	6375,00	36213,06	46710,46
17:30	-511,78	6375,00	36213,06	42076,27

Fonte: Pesquisa direta, 2022.

Para melhor visualização, a Figura 24 ilustra graficamente a Tabela 14.

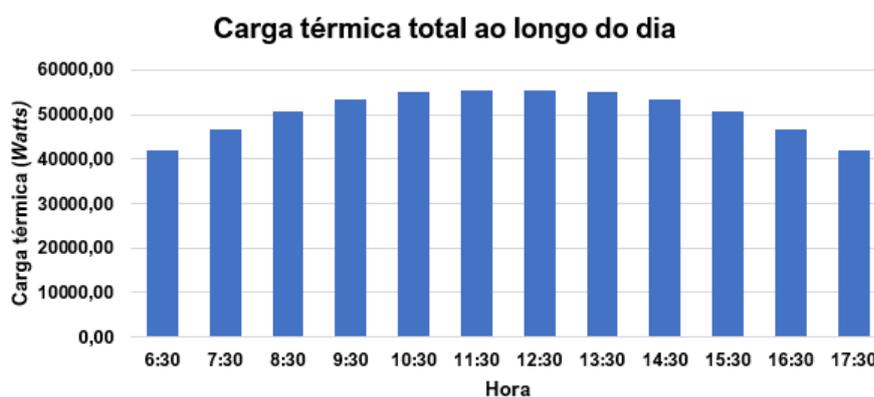


Figura 24 - Carga térmica em W.

Fonte: Pesquisa direta, 2022.

A Figura 24 representa a carga térmica total durante o dia. Nota-se que os valores mais altos estão presente no meio do dia devido a maior insolação.

Não foram levadas em conta a carga térmica gerada pela iluminação pois durante o dia tem-se uma boa luminosidade.

4.5 Vazão de ar necessária

Para garantir que a temperatura interna seja no máximo de 30°C devido ao ganho de calor por pessoas, irradiação solar e equipamentos foi calculada a vazão necessária utilizando a equação 14 para cada hora do dia como mostra a Figura 25.

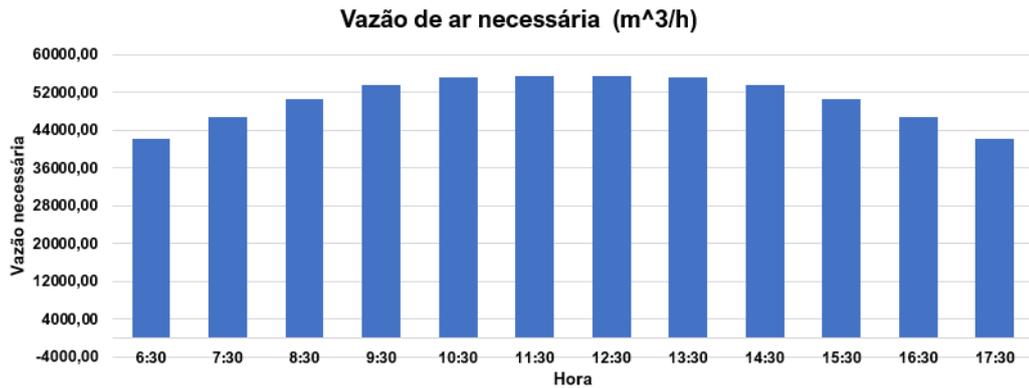


Figura 25 - Vazão de ar por hora
Fonte: Pesquisa direta, 2022.

Nota-se de acordo com a Figura 25 que a vazão de ar máxima necessária ocorre entre o período de 10:30 e 13:30. Este valor é coerente pois nessa faixa a insolação possui seu maior valor, fazendo com que a vazão de ar tenha que suprir esse ganho de calor.

4.6 Exaustores eólicos para suprir a vazão de ar necessária e renovação do ar

Visto a carga térmica total gerada e a vazão necessária para que o ganho de calor seja suprido, foi possível calcular a quantidade de exaustores eólicos necessários. Para isso, foi considerada a maior vazão durante o dia que é de 55431,132 m³/h e a taxa de transferência de calor máxima que é de 55465,03 W.

Como os ventos locais possuem a velocidade média de 12 km/h foi selecionado uma categoria de exaustor eólico para essa faixa. De acordo com o catálogo da Luftmáxi, o modelo LM-40 Gold Standard se encaixa no projeto devido seu diâmetro e vazão, como pode ser visualizado na Figura 26.

Exaustor Eólico

MODELO	ÁREA DE SAÍDA (M2)	VAZÃO (M3/H)			
		5 km/h	10 km/h	15 km/h	20 km/h
LM-60 Gold Turbo	0,264	4.200	5.000	5.625	7.500
LM-60 Gold Standard	0,264	3.300	4.000	4.500	6.000
LM-60 Master Turbo	0,264	4.200	5.000	5.625	7.500
LM-60 Master Standard	0,264	3.300	4.000	4.500	6.000
LM-40 Gold Standard	0,130	1.600	1.800	2.100	3.000
LM-30 Gold Standard	0,070	1.200	1.350	1.575	2.250
LM-20 Gold Standard	0,032	0.600	0.900	1.050	1.500

Figura 26 - Exaustores eólicos
Fonte: Pesquisa direta, 2022.

Para o cálculo da quantidade de exaustores eólicos necessários dividiu-se a vazão máxima pela vazão que o exaustor suporta nessa faixa de ventos e chegou-se na quantidade ideal como ilustra a Tabela 15.

Tabela 15 - Quantidade de exaustores

Vazão Máxima	55431,13	m³/h
Calor máximo	55465,03	Watts
Vento médio	10,00	km/h
Exaustor eólico	1800,00	m³/h
Quantidade	31	

Fonte: Pesquisa direta, 2022.

Com o objetivo de renovar totalmente o ar do recinto certo número de vezes devido a odores provenientes dos produtos armazenados e pela emissão de monóxido de carbono dos caminhões foi calculada a quantidade exaustores para tal.

Considerando que o recinto tem características de uma garagem, seguindo a literatura, a média de renovações totais de ar por hora foi considerada como sendo de 18 vezes. Logo, foi calculado o volume total do recinto em metros cúbicos e multiplicado esse valor pelo número de trocas e depois dividido pela capacidade de vazão dos exaustores obteve a quantidade necessária conforme a Tabela 16.

Tabela 16 - Exaustores para renovação de ar

Volume do recinto	3060,00	m³
Trocas p/h	18,00	
Volume necessário por hora	55080,00	m³/h
Qntd exaustores	30,60	

Fonte: Pesquisa direta, 2022.

Logo, como a quantidade de exaustores eólicos necessária para a renovação total do ar do recinto é de 30,6 unidades, é definido para o projeto o total de 32 equipamentos.

4.6.1 Seleção do isolante térmico e análise financeira

O isolante térmico escolhido foi o poliestireno expandido (EPS) popularmente chamado de isopor. Além de ser utilizado em diversos segmentos como forros, lajes, pranchas de surf e calços é famoso por sua versatilidade, durabilidade e fácil instalação.

De acordo com pesquisas com fornecedores, foram encontradas diversas espessuras. As escolhidas para estudo foram de 5 e 10 centímetros. As peças possuem tamanho padronizado e para cobrir todo o telhado seriam necessárias 1020 placas como ilustra a Tabela 17.

Tabela 17 - Dimensões e quantidade de peças

Área da cobertura (m²)
510
Área da placa (m²)
0,5
Quantidade de placas
1020

Fonte: Pesquisa direta, 2022.

Se comparado o custo total do produto, as placas com 10 centímetros de espessura custam 100,89% a mais como mostra a Tabela 18.

Tabela 18 - Preços das placas

	Preço unitário		Preço total	
Placa de 10 cm	R\$	45,00	R\$	45.900,00
Placa de 5 cm	R\$	22,40	R\$	22.848,00

Fonte: Pesquisa direta, 2022.

A Figura 27 ilustra a comparação da carga térmica entre as duas espessuras. Apesar das placas de 10 centímetros de espessura reterem mais o calor, seu custo-benefício é alto.

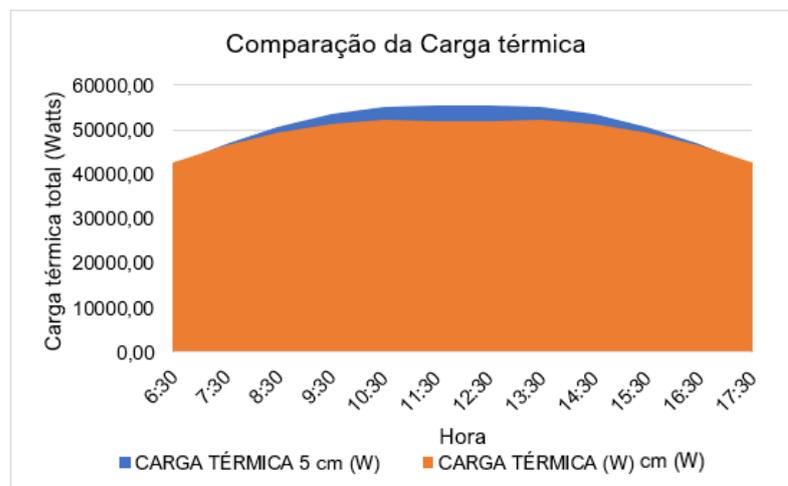


Figura 27 - Comparação da carga térmica de acordo com as espessuras
Fonte: Pesquisa direta, 2022.

Além da carga térmica, a vazão necessária para a retirada do ganho de calor utilizando as placas de 10 centímetros de espessura é menor, como mostra a Figura 28.

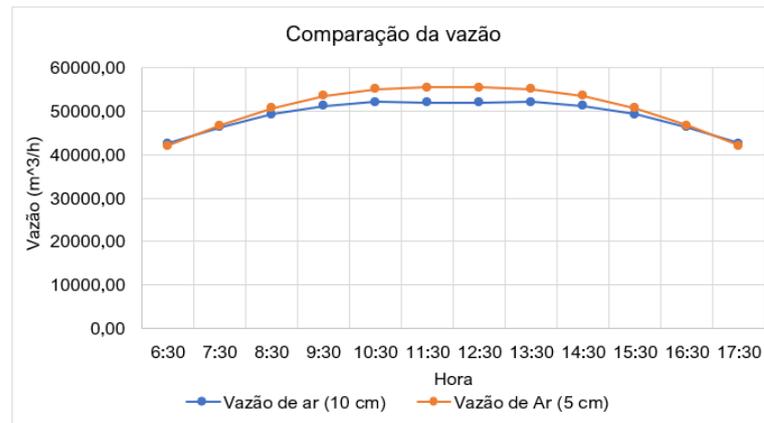


Figura 28 - Comparação da vazão
Fonte: Pesquisa direta, 2022.

A quantidade necessária de exaustores para os tipos de placa é mostrada na Tabela 19.

Tabela 19 - Comparação exaustores

	Quantidade de exaustores	Preço médio	Preço total
Placa de 10 cm	28,94	R\$ 285,00	R\$8.247,90
Placa de 5 cm	31	R\$ 285,00	R\$8.835,00
		Diferença	R\$ 587,10

Fonte: Pesquisa direta, 2022.

Nota-se na Tabela 19 que o custo da diferença dos exaustores é de 6,65% tornando-se irrelevante se comparado aos das placas, logo para o projeto foram selecionadas as placas com 5 centímetros de espessura.

O valor da diferença entre os exaustores representa 2,55% do valor que seria pago a mais caso as placas de 10 centímetros fossem escolhidas, justificando o uso da placa com espessura menor.

4.6.2 Posicionamento dos exaustores eólicos e do isolante térmico

Como mencionado no item 4.6, o modelo dos exaustores eólicos selecionado possui 40 centímetros de diâmetro. No projeto são utilizados 32 exaustores na cobertura distribuídos em duas fileiras com 16 unidades conforme a Figura 29.

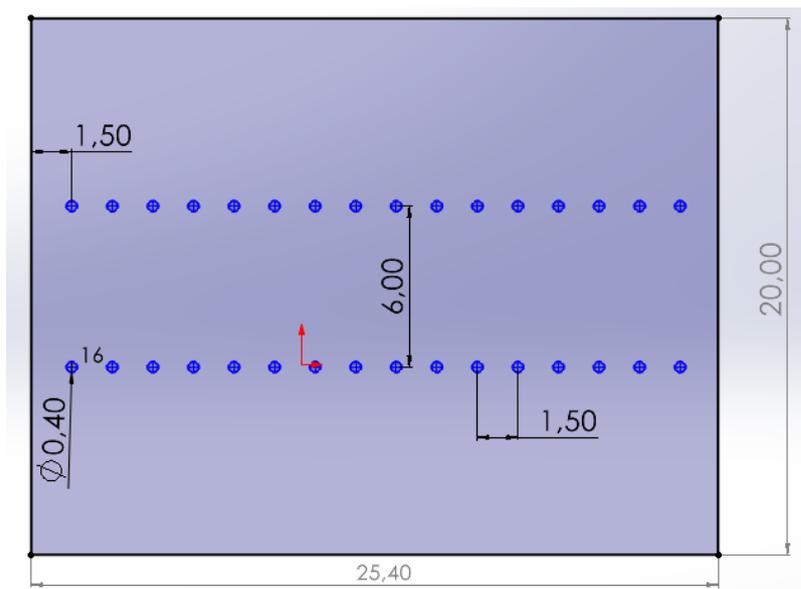


Figura 29 - Disposição dos exaustores
 Fonte: Pesquisa direta, 2022.

Pode-se observar na Figura 29 - Disposição dos exaustores que a distância entre os exaustores da mesma fileira é de 1,5 metros enquanto entre as duas é de 6 metros.

Já o isolante térmico será instalado na parte inferior das telhas de zinco por toda a cobertura. A Figura 30 ilustra o modo de aplicação do material.

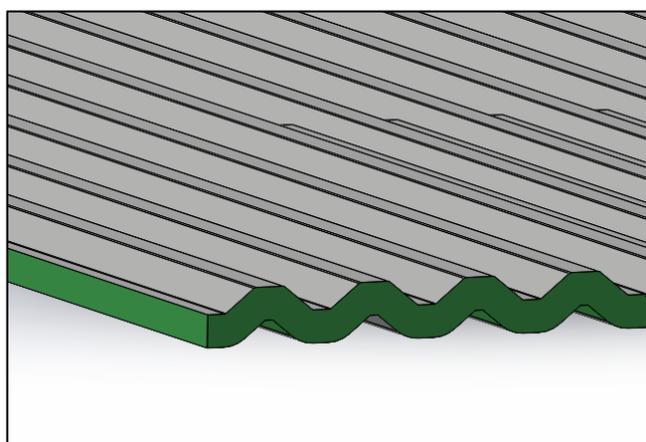


Figura 30 - Disposição do isolante
 Fonte: Pesquisa direta, 2022.

Na Figura 30 em verde está um exemplo de como estarão dispostas as placas de EPS. No projeto elas serão instaladas na parte interna das telhas pois aumenta a sua durabilidade e as protegem do intemperismo.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

É importante sempre garantir a salubridade laboral do ponto de vista ergonômico, mental, físico e respiratório através de sistemas de engenharia que visam a saúde dos colaboradores.

Uma das melhorias possíveis é garantir o controle da renovação eficiente total do ar de um recinto além de uma temperatura aceitável para o exercício das atividades. Porém, nem sempre essa realidade é assegurada devido a deficiência no projeto de edifícios ou redução de custos. Essa situação é maléfica pois pode acarretar, ao longo do tempo, doenças e prejuízos financeiros.

O presente trabalho realizou um estudo teórico sobre ventilação industrial, carga térmica a partir de várias fontes, modelo de exaustores eólicos, instalação de um isolante visando a diminuição da temperatura no recinto sempre analisando a viabilidade financeira e de instalação.

O isolante térmico escolhido foi o poliestireno expandido (EPS) devido as suas propriedades térmicas, preço e fácil manuseio se adequarem ao projeto. Ele é responsável, principalmente, por absorver parte da carga térmica vinda da irradiação solar por toda a cobertura. Com isso, a temperatura interna no galpão se mantém adequada para os trabalhadores além de ajudar os exaustores eólicos na retirada do ar quente.

Além disso, a análise financeira do isolante térmico foi determinante por explicitar o custo-benefício da escolha da espessura das placas. As peças de 10 centímetros apresentaram preço 100,89% maior que as de 5 centímetros, representando cerca de R\$ 23.000,00 no projeto.

O custo dos exaustores a mais necessários representa 2,55% do custo da diferença entre o preço das placas de 5 e 10 centímetros, justificando o seu uso.

Através dos cálculos foi possível determinar o número de exaustores necessários para a retirada da vazão de ar necessária gerada pela carga térmica total além de renovar o ar do recinto 18 vezes por hora inibindo odores, material particulado e outros contaminantes.

O isolante térmico foi orçado em alguns fornecedores e o preço médio está na Tabela 19. Para a escolha dos exaustores eólicos foi escolhida a empresa Luftmaxi que apresentou modelos compatíveis com o projeto além de explicitar os parâmetros necessários para avaliação de viabilidade.

5.1 Recomendações

A partir deste trabalho, são apresentadas as seguintes sugestões para trabalhos futuros:

- Detalhar a instalação dos exaustores e isolante térmico;
- Criar um plano de manutenção para os exaustores e isolante térmico;
- Calcular o retorno sobre o investimento da aplicação do sistema.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários Parte 3: Qualidade do ar interior. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**, p. 1-28, 2008.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Desempenho térmico de edificações Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de elementos e componentes de edificações. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**, p. 1 – 40, 2008.

ÇENGEL, Y. A.; GHAJAR, A. J. **Transferência de Calor e Massa**. 4. ed. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda, 2011.

COSTA, Ennio Cruz da. **Ventilação**, 2005.

MACINTYRE, Archibald Josef. **Ventilação Industrial e Controle da Poluição**, 1990.

CLEZAR, Carlos Alfredo; NOGUEIRA, Antônio Carlos Ribeiro. **Ventilação Industrial**, 2009.

MOREIRA, Adson Bezerra. **Análise da operação de sistemas de ventilação industrial visando à eficiência energética**, 2006.

FILHO, Paranhos Moacyr. **Gestão da produção industrial**, 2007.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli RAMOS. **Manual de Conforto Térmico**, 2001.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**, 2002.

VALDIERO, Antonio Carlos; THESING, Nelson José. **Desafios em Engenharia Industrial**, 2016.

MENEZES, Milton Serpa. **Refrigeração e Ar-Condicionado**, 2005.

CREDER, Hélio. **Instalações de Ar-Condicionado**, 2004.

Ventcenter. **Exaustor Eólico**. Disponível em: <https://www.ventcenter.com.br/exaustor-eolico.php> . Acesso em 23 ago. 2022.

Weather Spark, **Clima e condições meteorológicas médias em Oliveira ano todo**. Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/y/30487/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Oliveira-Brasil-durante-o-ano#Sections-Wind> . Acesso em 23 ago. 2022.

Airpop, Propriedades térmicas do EPS. Disponível em: <https://acepe.pt/propriedades-termicas/> . Acesso em 03 out. 2022.

Thermal engineering, O que é condutividade térmica do poliestireno expandido – Definição. Disponível em: <https://www.thermal-engineering.org/pt-br/o-que-e-condutividade-termica-de-poliestireno-expandido-definicao/> . Acesso em 03 out. 2022.

Procyon embalagens. EPS – Poliestireno Expandido. Disponível em: <http://procyonembalagens.com.br/poliestireno-expandido-e-solucao-para-isolamento-termico/> . Acesso em 03 out. 2022.

Rio Flux, Exaustores eólicos. Disponível em: <https://rioflux.com/vendas/venda-de-exaustores-eolicos/> . Acesso em 04 out 2022.

Mercado Livre, Exaustores eólicos. Disponível em: <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1355344432-exaustor-eolico-comercialindustrialresidencial-completo- JM> Acesso em 04 out 2022.

BRUNETI, Franco. **Motores de Combustão Interna**: volume 2, 2012.