

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
ENGENHARIA MECÂNICA**

**MATHEUS DALEFFE NESPOLO**

**SISTEMA DE VENTILAÇÃO INDUSTRIAL EM UMA METALÚRGICA NA REGIÃO  
DOS CAMPOS GERAIS: UM ESTUDO DE CASO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**PONTA GROSSA**

**2019**

**MATHEUS DALEFFE NESPOLO**

**SISTEMA DE VENTILAÇÃO INDUSTRIAL EM UMA METALÚRGICA  
NA REGIÃO DOS CAMPOS GERAIS: UM ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, do Departamento Acadêmico de Engenharia Mecânica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. M. Tárik Linhares  
Tebchirani

Coorientador: Prof. Dr. Jhon Jairo Ramírez  
Behainne

**PONTA GROSSA**

**2019**





## **TERMO DE APROVAÇÃO**

### **SISTEMA DE VENTILAÇÃO INDUSTRIAL EM UMA METALÚRGICA NA REGIÃO DOS CAMPOS GERAIS: UM ESTUDO DE CASO**

por

**MATHEUS DALEFFE NESPOLO**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 6 de dezembro de 2019 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

**Prof. Me.Tárik Linhares Tebchirani**  
Orientador

**Prof. Dr.Marcelo Vasconcelos de Carvalho**  
Membro Titular

**Prof. Dr.Gilberto Zammar**  
Membro Titular

**Prof.Dr. Marcos Eduardo Soares**  
Responsável pelos TCC

**Prof. Dr. Marcelo Vasconcelos de  
Carvalho**  
Coordenador do Curso

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço em primeiro lugar a Deus, pela saúde e pela força durante toda esta caminhada acadêmica, não apenas por esta trilhada durante o desenvolvimento deste trabalho, mas sim durante os 5 anos de dedicação.

Aos meus pais, Simone e Carlos, irmão João, irmã Laura e minha namorada Adriane, que ao longo de toda minha vida tanto acadêmica tanto quanto pessoal vem acompanhando e dando motivação para que tudo isso possa se tornar real, sempre me guiando e me fortalecendo durante tal desenvolvimento, tanto pessoal, tanto quanto profissional.

Em especial ao professor orientador, Tárík Linhares Tebchirani, pela paciência e dedicação para junto comigo neste trabalho, sempre me direcionando não apenas nesta pesquisa, mas também na vida pessoal e profissional.

Ao professor coorientador Jhon Jairo Ramírez Behainne, pela extrema disponibilidade, atenção e dedicação para com seus alunos, não apenas comigo, pois é este tipo de profissional que nos motiva também a buscar sempre mais e mais.

A todos meus amigos que me cercam, um grande “muito obrigado”, por cada sorriso tirado e cada desespero compartilhado, pois sem isso, não estaria aqui neste momento hoje.

E por fim, a Universidade Tecnológica Federal do Paraná, saudosa UTFPR, da qual foi responsável por minha formação acadêmica quase que completa, desde ensino técnico até a graduação, pois sem as oportunidades que esta universidade oferece, e no nível que oferece, são únicas.

## RESUMO

NESPOLO, Matheus Daleffe. **Sistema de ventilação industrial em uma metalúrgica na região dos campos gerais: um estudo de caso.** 2019. 47f. Trabalho de Conclusão de Curso – Bacharelado em Engenharia Mecânica – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2019.

O bem-estar de trabalhadores dentro dos ambientes de trabalho acabam que por apresentar grande influência sobre os resultados entregues, ainda mais quando se trata da climatização destes, pois ambientes quentes e insalubres, ou até mesmo ambientes frios, não favorecem o desenvolvimento de qualquer tipo de atividade, sendo estas, cognitivas e/ou físicas. Portanto a climatização de ambientes se vê tão importante nos dias atuais, pois garantindo condições mínimas de trabalho, em relação ao conforto térmico de seus colaboradores, tem-se ganhos tanto de produtividade, quanto na redução da taxa de absenteísmo. Com isto, objetivou-se, com o estudo em questão, identificar o estado atual da ventilação de um galpão em uma indústria metalúrgica, elencando desta maneira toda a carga térmica vinculada ao ambiente de trabalho. Ao final deste, constatou-se pontos falhos dentro do galpão acerca da ventilação oferecida, não sendo condizente com a carga térmica vinculada aos setores de trabalho analisados, oferecendo assim pontos importantes passíveis de melhoria.

**Palavras-Chave:** Ventilação. Carga Térmica. Indústria Metalúrgica. Conforto Térmico. Qualidade de vida no trabalho.

## ABSTRACT

NESPOLO, Matheus Daleffe. **Industrial Ventilation System in a Campos Gerais Metallurgical Industry: A Study Case.** 2019. 47p. Work of Conclusion Course – Bachelor's degree in Mechanical Engineering - Federal Technology University - Paraná. Ponta Grossa, 2019.

The well-being inside work environments have great impact on people marks, even more when it is related to climatizing these places, because warm and unhealthy, even cold places, do not offer good conditions for the development of any kind of cognitive or physical activity. Therefore, environment climatizing has been so important now a days, because ensuring minimum work conditions for the workers, improves the productivity and reduces the absenteeism rate. Based on these conditions, this study has the objective to identify the metallurgical industry shed current ventilation state, and all the thermal load linked to it. As result, was possible to identify failure points in the ventilation, showing that this was not compatible with the thermal load bounded to it, offering believable points of improvement.

**Keywords:** Ventilation. Thermal Load. Metallurgical Industry. Thermal comfort. Quality of Working life

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Sistema de Ventilação Geral.....	11
Figura 2 - Casos típicos de ventilação natural em galpões .....	12
Figura 3 - Insuflação Mecânica e Exaustão Natural .....	14
Figura 4 - Insuflação Natural e Exaustão Mecânica .....	14
Figura 5 - Insuflação e Exaustão Mecânica .....	15
Figura 6 - Opções de disposição da ventilação mecânica .....	16
Figura 7 - Carga térmica na estrutura da edificação .....	21
Figura 8 - Identificação do galpão e posicionamento geográfico da estrutura .....	26

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Especificação das superfícies expostas à insolação.....	29
Tabela 2 - Carga Térmica associada a insolação .....	30
Tabela 3 - Lista de Equipamentos internos ao recinto .....	31
Tabela 4 - Cargas Térmicas de Componentes internos ao recinto .....	33
Tabela 5 - Estratificação das Cargas Térmicas vinculadas ao ambiente .....	35

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Carga térmica estratificada e oferta de ar por setor.....	36
---	----

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>8</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>10</b>
2.1 VENTILAÇÃO INDUSTRIAL .....	10
2.1.1 CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS DE VENTILAÇÃO .....	10
2.1.1.1 Ventilação Geral.....	11
2.1.1.1.1 <i>Natural</i> .....	12
2.1.1.1.2 <i>Geral Diluidora</i> .....	13
2.1.1.2 <i>Ventilação Local Exaustora</i> .....	17
2.2 CONFORTO TÉRMICO .....	17
2.3 EFEITOS DA MOVIMENTAÇÃO DE AR SOB O CONFORTO TÉRMICO .....	18
2.3.1 FORMAS DE TRSMISSÃO DE CALOR DE UMA PESSOA .....	19
2.3.1.1 Radiação .....	19
2.3.1.2 Convecção .....	19
2.3.1.3 Evaporação .....	20
2.4 CARGA TÉRMICA .....	21
2.4.1 CALOR .....	22
2.4.2 CAPACIDADE TÉRMICA .....	22
2.4.3 CALOR ESPECÍFICO .....	23
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>24</b>
3.1 CONDIÇÕES DE ANÁLISE .....	24
3.2 ESPAÇO FÍSICO .....	24
3.3 SETORES DE TRABALHO.....	25
3.4 POPULAÇÃO.....	25
3.5 MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS.....	25
3.6 INSOLAÇÃO PREDIAL.....	26
3.7 ILUMINAÇÃO.....	27
3.8 VENTILAÇÃO OU INFILTRAÇÃO DE AR NO AMBIENTE.....	27
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>29</b>
4.1 INSOLAÇÃO .....	29
4.2 PESSOAS INTERNAS AO RECINTO.....	30
4.3 ILUMINAÇÃO.....	31
4.4 MOTORES ELÉTRICO E EQUIPAMENTOS.....	31
4.5 VENTILAÇÃO E INFILTRAÇÃO DE AR PARA O AMBIENTE.....	33
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	<b>37</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>39</b>
<b>ANEXO A</b> .....	<b>42</b>
<b>ANEXO B</b> .....	<b>43</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Ambientes fabris em condições satisfatórias de trabalho, como iluminação adequada, ventilação apropriada e condições ergonômicas corretas, resultam em alta produtividade, redução do absenteísmo, baixos índices de acidentes de trabalho, etc. Como consequência, as empresas ganham competitividade, reduzindo custos e se qualificando para obtenção de certificações de qualidade.

É comum encontrarmos indústrias, mesmo recém construídas, utilizando barracões ineficientes do ponto de vista térmico, desprovidas de técnicas que promovem ventilação natural ou até mesmo que façam o uso de materiais em sua construção, visando a redução de troca térmica para com o ambiente. As edificações são idealizadas baseadas em critérios arquitetônicos e de custos de implantação, deixando muitas vezes de lado o conforto térmico dos funcionários e restrições de temperatura para materiais e processos. Isso sem falar em relação à dispersão de contaminantes, resíduos particulados, gases tóxicos e/ou vapores.

A falta de controle de temperatura, umidade e qualidade do ar, pode gerar ambientes insalubres, onerando inclusive os custos de mão de obra pela obrigatoriedade legal de adicionais de insalubridade. Portanto, sistemas de ventilação efetivos e bem dimensionados, são imprescindíveis para prevenção de acidentes, redução de reclamações trabalhistas, além de garantir o bem-estar dos colaboradores.

Os sistemas de ventilação utilizados nas plantas industriais, em sua grande maioria, acabam se apresentando de duas formas básicas:

- ✓ Sistemas de ventilação geral: Utilizados para remover impurezas ou qualquer contaminante do ambiente de forma mecânica, realizando a ventilação de modo global e mais geral. Podem ser de forma *Natural* ou *Geral Diluidora*.

- ✓ Sistemas de ventilação local exaustora: Realiza a captação do ar junto à fonte poluidora, permitindo assim, a sucção do ar poluído, exaurindo-o para a atmosfera.

Assim, como FROTA (2001) descreve, quando tratarmos de sistemas de ventilação para ambientes fabris, principalmente os ambientes metalúrgicos, recomenda-se a utilização de ambos sistemas para promover ambientes confortáveis e com grau de pureza que não ofereça riscos à saúde do trabalhador.

É neste âmbito que o estudo acaba que por se desenvolver, na identificação do estado atual das condições em que o próprio recinto se encontra, elencando as contribuições individuais, tanto de equipamentos tanto quanto das pessoas internas ao recinto, para determinação da carga térmica, e subsequente análise de tal condição de acordo com os equipamentos de ventilação já previamente instalados.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 VENTILAÇÃO INDUSTRIAL

Em uma concepção ampla, “ventilar” significa “deslocar ar”, fornecer ou retirar ar de um ambiente, por princípios mecânicos ou naturais, ocasionando assim a renovação deste no ambiente. Essa renovação, dentro de um recinto, dito fechado, visa atingir níveis aceitáveis ou até mesmo compatíveis com as condições fisiologicamente aceitáveis para a saúde humana (RIVEIRO, 1986).

*“A ventilação Industrial é entendida como a operação realizada para controlar a temperatura, a distribuição do ar, a umidade e eliminar agentes poluidores do ambiente, tais como gases, vapores, poeiras, fumos, névoas, microrganismos e odores, designados por contaminantes ou poluentes” (MACINTYRE, 1990).*

Deve se salientar que a ventilação industrial não visa apenas atender as condições mínimas satisfatórias para um ambiente de trabalho, objetiva também impedir o lançamento de contaminantes na atmosfera, para que desta maneira, não haja ameaças a saúde e a vida das vizinhanças e até mesmo de locais mais afastados. Por isso a demanda de um projeto adequado, compatível com o grau de risco dos poluentes envolvidos no processo, se torna necessária (FROTA, 2001).

#### 2.1.1 CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS DE VENTILAÇÃO

A classificação dos sistemas de ventilação leva em consideração as finalidades das quais estas se destinam (MACINTYRE, 1990), podendo ser:

- a) Manter o conforto térmico, procurando manter inalteradas as condições do ar ambiente, mesmo com as possíveis alterações causadas pela presença do homem;
- b) Manter a saúde e a segurança, reduzindo ou até mesmo eliminando a presença de particulados ou concentração de gases que seja nociva à saúde e bem-estar do homem;

- c) Conservar em bom estado materiais e equipamentos;

Portanto, levando em consideração os pontos acima descritos, a classificação dos sistemas de ventilação pode ser classificada em 2 grandes grupos:

- ✓ Ventilação Geral
- ✓ Ventilação Local Exaustora

#### 2.1.1.1 Ventilação Geral

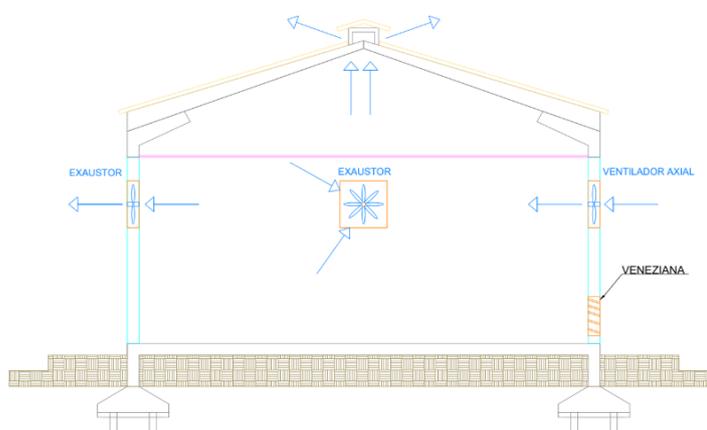
A ventilação geral consiste no deslocamento de ar causado em ambientes confinados, ou seja, ambientes ditos fechados, com o objetivo de melhorar as condições do ambiente, ofertando em grande parte das vezes um controle da temperatura, distribuição, pureza e até mesmo da umidade em alguns dos casos (MACINTYRE, 1990).

Costuma-se classificá-la em:

- ✓ Natural;
- ✓ Geral Diluidora;

A Figura 1, exemplifica uma aplicação de um sistema de ventilação geral.

**Figura 1 - Sistema de Ventilação Geral**

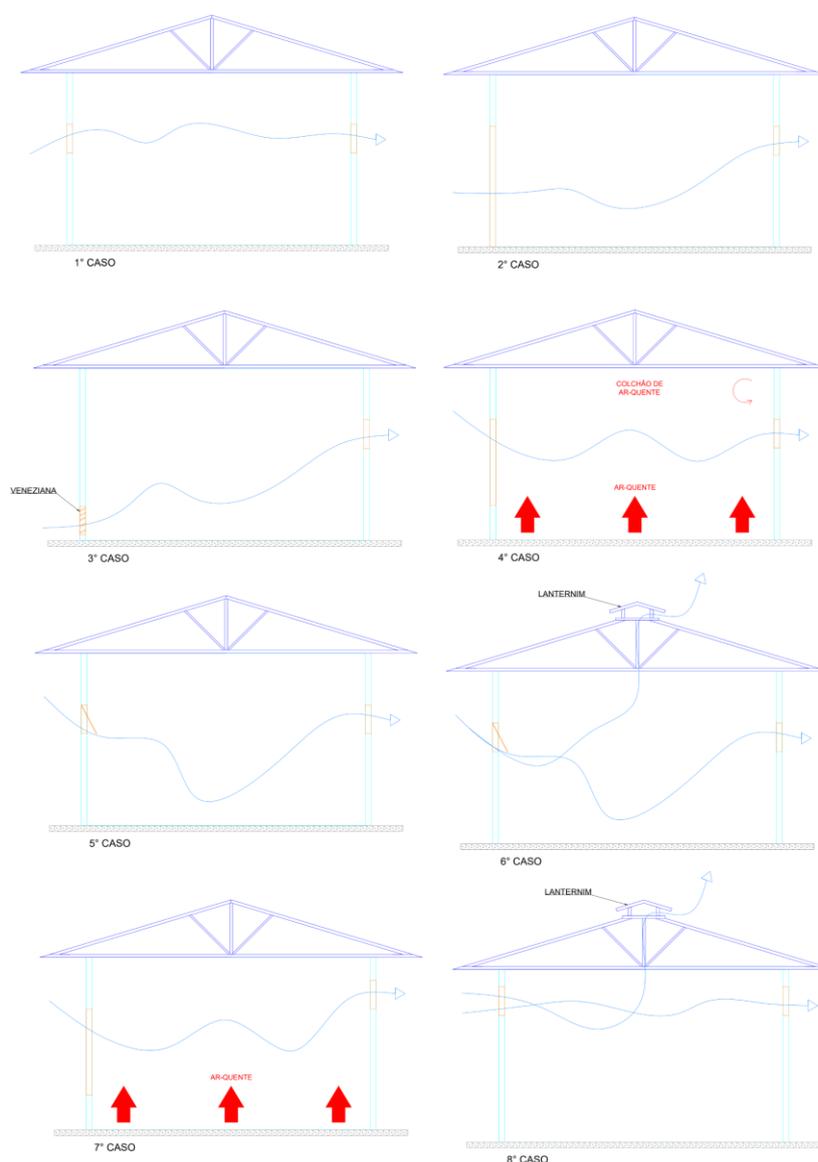


**Fonte: Autoria própria**

### 2.1.1.1.1 Natural

A ventilação natural, assim como sua própria descrição já diz, tira partido da ação natural do vento para que ocorra a remoção do ar contaminado dos ambientes confinados, Figura 2, por meio de aberturas como de portas, janelas e *lanternins* para o meio externo, de modo a não causar prejuízo à vizinhança.

**Figura 2 - Casos típicos de ventilação natural em galpões**



**Fonte: Adaptado Macintyre (1990)**

Desta forma, a movimentação/circulação do ar só é garantida quando tal requisição já é implantada no escopo do projeto arquitetônico, ou seja, é necessário o planejamento da estrutura para que esta consiga tirar proveito da ventilação natural,

pois é nesta etapa em que se deve ter um entendimento acerca dos aspectos ambientais da região e ter as aberturas da edificação, como portas, janelas ou até mesmo *venezianas* voltadas, evidentemente para o lado dos ventos predominantes da região. Mas, como se sabe, condições naturais não oferecem garantia de uniformidade, o que acaba que por muitas vezes, invalidando sua aplicação em muitos casos (RIVEIRO, 1986).

MACINTYRE (1990) ainda afirma que uma estimativa da vazão de ar  $Q_{natural}$  em ( $m^3/s$ ), Equação 1, pode ser obtida quando se conhece a velocidade média sazonal ( $v$ ) em  $m/s$  dos ventos locais e a área total das aberturas do recinto ( $A$ ) em  $m^2$  por meio da seguinte equação:

$$Q_{natural} = \varphi \cdot A \cdot v \quad (1)$$

Sendo  $\varphi$  um fator adimensional, que depende das características das aberturas, sendo 0,5 a 0,6 para ventos perpendiculares à parede e entre 0,25 e 0,35 para ventos diagonais em relação à parede.

Quando não for possível adotar o sistema de ventilação natural, seja pelas características das atividades, presença de poluentes, ou quaisquer que sejam as exigências do ambiente, deve-se adotar a ventilação mecânica (GUIMARÃES, 2010).

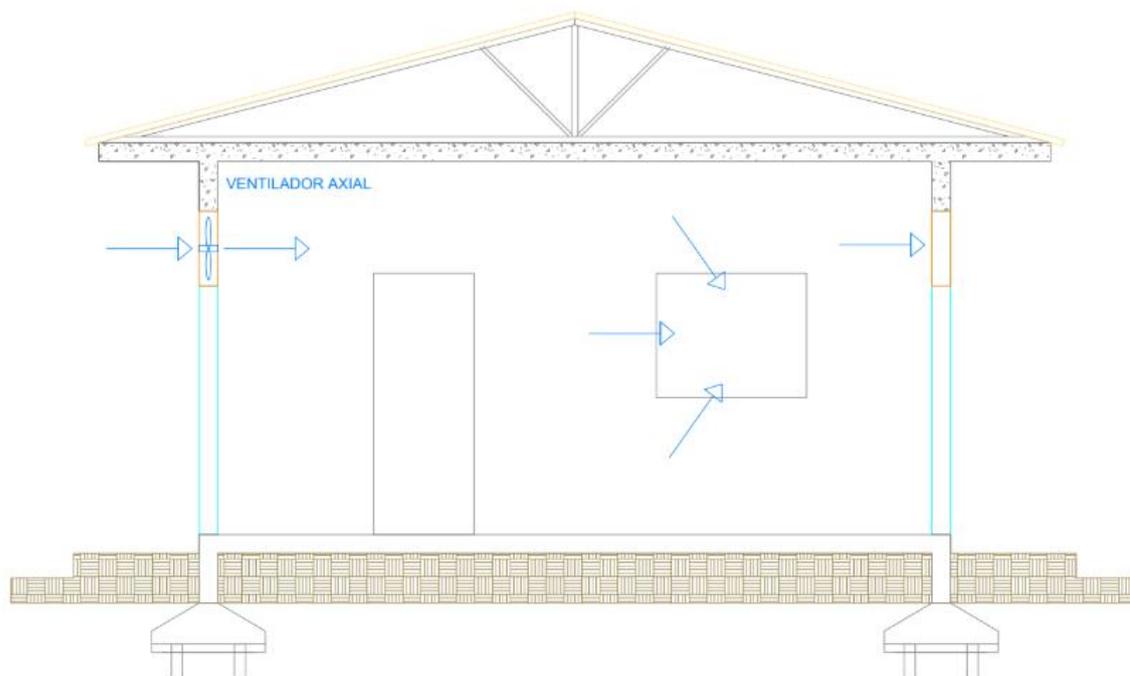
#### 2.1.1.1.2 Geral Diluidora

Um sistema de ventilação geral, segundo BORRÉ (2013), combina a ventilação natural com a exaustão mecânica, o que proporciona uma troca de ar constante, garantindo assim uma linearidade nas características do ambiente interno, onde se deseja atingir condições mínimas de temperatura, salubridade ou até mesmo de umidade.

De acordo com MACINTYRE (1990), a ventilação geral diluidora pode se apresentar com configurações distintas como sistemas com insuflação mecânica e exaustão natural, Figura 3, insuflação natural e exaustão mecânica, Figura 4, ou até insuflação e exaustão mecânica, Figura 5, sendo a primeira configuração formada por ventiladores que insuflam ar exterior para dentro do recinto, fazendo com que tal ambiente tenha uma pressão interna maior do que a externa do ambiente,

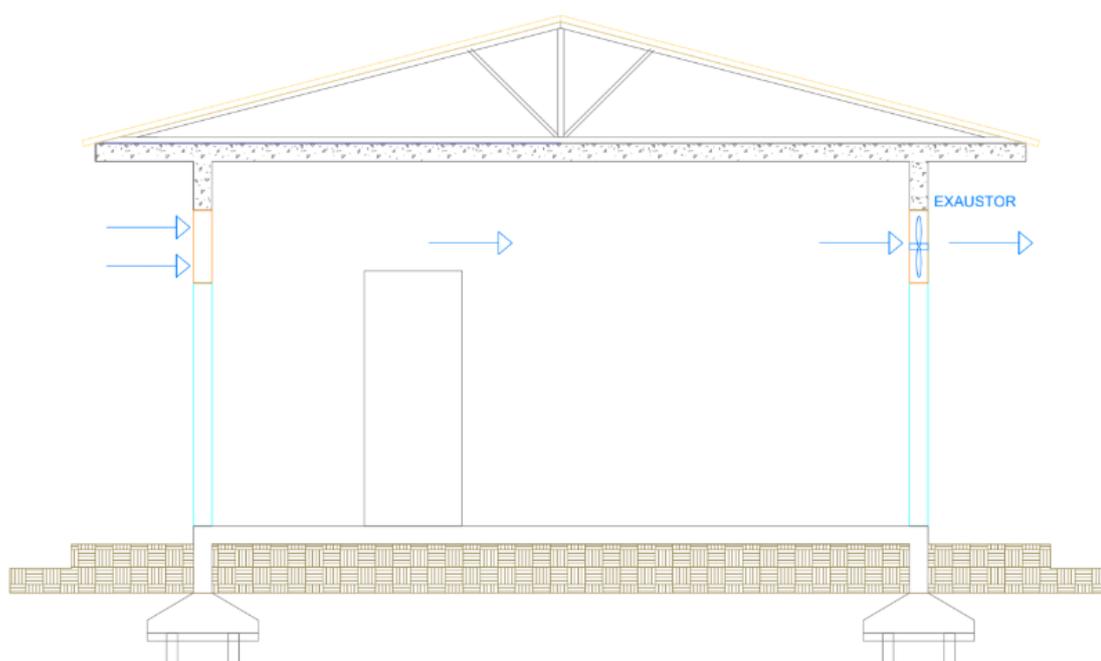
ocasionando assim, uma exaustão natural do ar interno, provocando o fluxo de quaisquer contaminantes do ambiente para o ambiente externo, diluindo-os.

**Figura 3 - Insuflação Mecânica e Exaustão Natural**

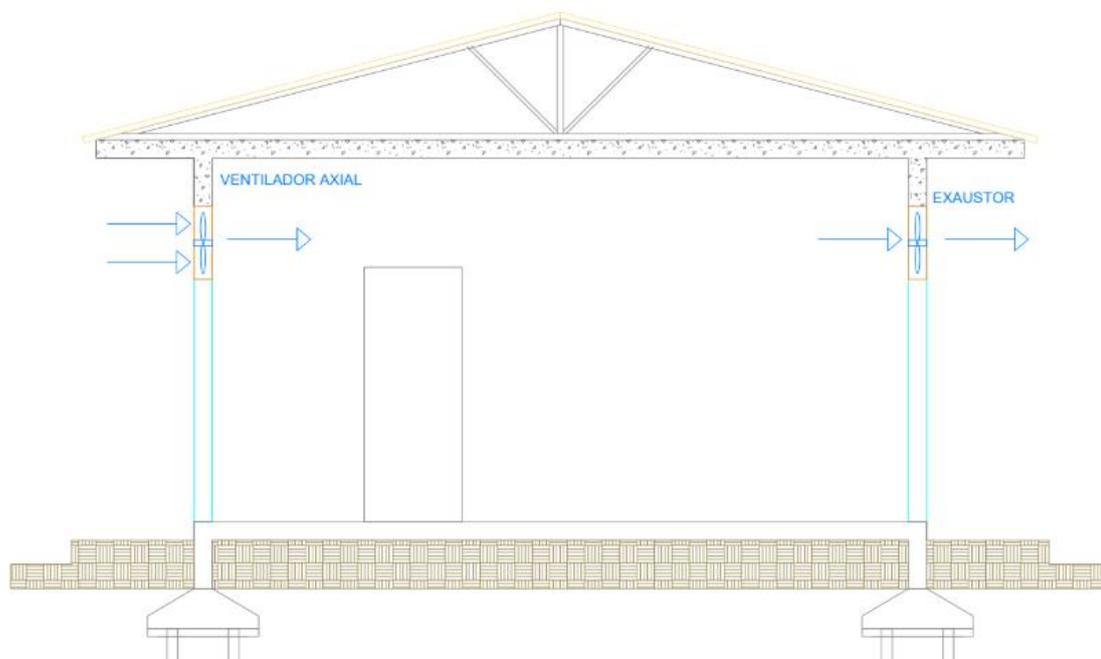


Fonte: Adaptado Macintyre (1990)

**Figura 4 - Insuflação Natural e Exaustão Mecânica**



Fonte: Adaptado Macintyre (1990)

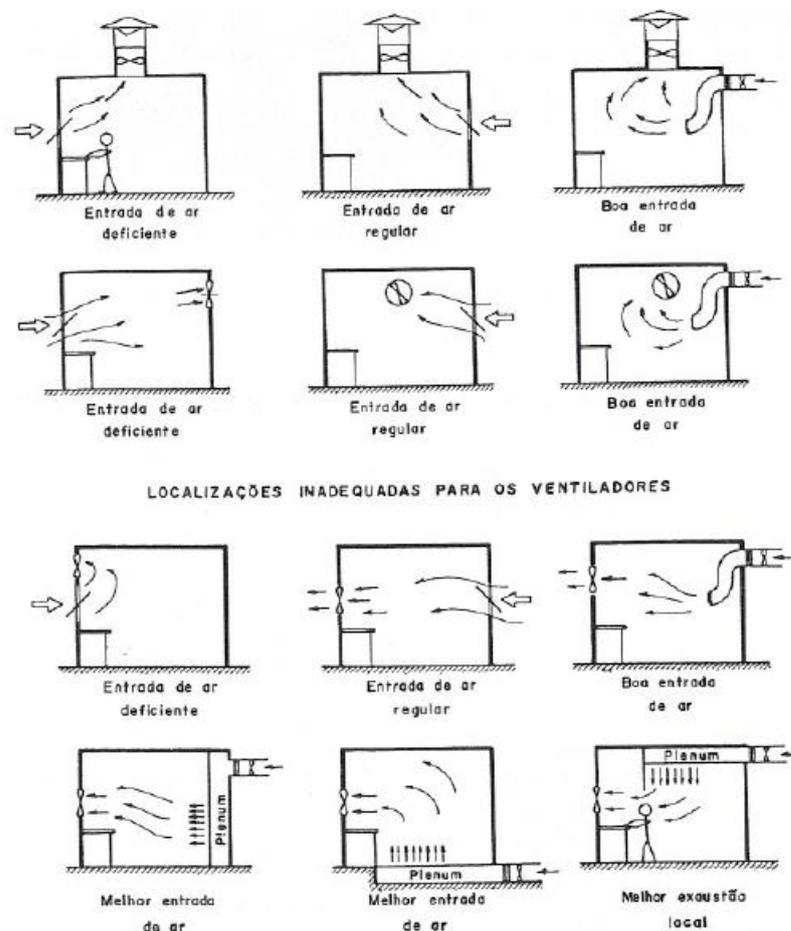
**Figura 5 - Insuflação e Exaustão Mecânica**

**Fonte: Adaptado Macintyre (1990)**

Desta forma, de acordo com FROTA (2001), as necessidades ou até mesmo das operações que são realizadas nos ambientes internos dos galpões, certos sistemas de ventilação acabam que por se adequar melhor, oferecendo assim opções mais viáveis de projeto.

Tratando-se acerca das opções existentes para ventilação industrial, sabe-se que sistemas que possuem insuflação e/ou exaustão mecânica acabam oferecendo mais possibilidades de arranjos de projeto, sendo que algumas opções podem ser visualizadas na Figura 6 (MACINTYRE, 1990).

**Figura 6 - Opções de disposição da ventilação mecânica**



**Fonte: Macintyre (1990)**

Mas quão maior a variedade de dispositivos em uma planta e também a disposição destes dentro de um mesmo ambiente, vale salientar que um aproveitamento eficiente destes dispositivos se torna cada vez mais difícil, demandando uma atenção maior ao projeto (ALVES, 2017).

Portanto, assim, uma instalação mais completa permite a captação do ar em locais não poluídos, se tornando até possível realizar, de forma viável, a filtragem do ar e somente depois este ser insuflado no ambiente interno, garantindo assim a qualidade do ar no recinto (ALVES, 2017).

### 2.1.1.2 Ventilação Local Exaustora

Diferentemente da *ventilação geral diluidora*, da qual o controle do poluente é feito de forma macro, trabalhando com o deslocamento de grandes volumes de ar e diluição do mesmo em todo o recinto para posterior remoção, NOGUEIRA (2009) afirma ainda que o sistema de ventilação local exaustora, o contaminante é removido junto ao ponto onde o mesmo é gerado, evitando com que este se espalhe por todo o ambiente.

Portanto para processos ou até mesmo equipamentos que gerem poluentes localmente, a implantação de um sistema local de ventilação se torna de suma importância, pois mesmo que seja de forma indireta, tal aplicação consegue influir também no bem-estar, segurança e eficiência de um trabalhador. Mas devemos nos atentar ao fato de que nem sempre sistemas locais de ventilação são possíveis de serem implementados, portanto soluções híbridas que acoplem benefícios de algumas variações se tornem mais interessantes (BARBIERO, 2004).

## 2.2 CONFORTO TÉRMICO

O conforto térmico num determinado ambiente, segundo RUAS (1999), pode ser definido como a sensação de bem-estar experimentada por uma pessoa, como resultado de uma combinação de vários fatores como temperatura, umidade relativa e a velocidade relativa do ar dentro do recinto.

Dentre todas as definições, há duas que expressam bem tal conceito. Com carácter mais subjetivo, uma delas define o conforto térmico como a condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico. Já a outra, possuindo uma abordagem mais fundamentada, define o conforto térmico de um indivíduo como quando as condições do meio que permitam que o sistema termorregulador do corpo esteja em estado de mínima tensão são alcançadas (RIVERO, 1986), ou seja, estado do qual o organismo consiga equilibrar a produção de calor metabólico com as perdas de calor para o meio externo, conhecido também como *balanço térmico*.

Aproveitando a implicação das condições metabólicas na troca de calor para com o meio externo, temos basicamente 4 mecanismos de troca de calor que o corpo humano apresenta:

- ✓ Convecção
- ✓ Condução
- ✓ Radiação
- ✓ Evaporação

As trocas de calor, seja por quaisquer dos mecanismos apresentados anteriormente, se dá por meio da diferença de temperatura que há entre o meio externo e o corpo, ocorrendo sempre o fluxo do corpo quente para o corpo frio.

### 2.3 EFEITOS DA MOVIMENTAÇÃO DE AR SOB O CONFORTO TÉRMICO

A movimentação de ar interna de recintos tem por objetivo, além do conforto térmico, acelerar a perda de calor do corpo, auxiliando na troca de calor, assim, a movimentação de ar faz-se necessária para remover o calor por evaporação, mas também para controlar a transpiração (MACINTYRE, 1990). Uma transpiração excessiva debilita o corpo humano, principalmente devido à perda de sais minerais.

Basicamente, o corpo humano se comporta como uma máquina exotérmica, e para que tal entre em equilíbrio térmico com o ambiente, a “eliminação” de tal energia através da pele se torna necessária para que a temperatura corpórea não aumente à níveis drásticos, a ponto de ameaçar o próprio organismo (FROTA, 2001).

Segundo BORRÉ (2013), é sabido que a movimentação do ar alivia a sensação de calor, e com a incidência de correntes de ar sob a pele, a perda de calor aumenta, desde de que o ar do ambiente não apresente uma umidade relativa muito alta. Portanto, desta forma, tal corrente de ar sendo incidida, à uma certa velocidade, conseguirá remover o calor mais rapidamente, conduzindo assim à uma sensação de bem-estar.

### 2.3.1 FORMAS DE TRANSMISSÃO DE CALOR DE UMA PESSOA

Para uma melhor compreensão do modo segundo qual o ar em movimento é favorável ao conforto térmico de uma pessoa, vale lembrar que o corpo opera por 3 processos físicos de transmissão de calor:

- ✓ Radiação
- ✓ Convecção
- ✓ Evaporação

E como os processos de convecção e evaporação são diretamente regidos pela movimentação do ar, são esses os principais mecanismos responsáveis pelo controle de temperatura corporal.

#### 2.3.1.1 Radiação

A radiação térmica, segundo INCROPERA (2019) pode ser entendida como a taxa na qual a energia é emitida pela matéria como um resultado de sua temperatura não nula. Portanto, este mecanismo de transmissão de calor está relacionado diretamente com o nível de agitação das moléculas da matéria, resultando assim na propagação de calor por meio de ondas eletromagnéticas.

O corpo humano, tendo em vista tal definição, transmite ou recebe calor por meio da radiação, conforme a temperatura que seu corpo apresente e o meio em que este está inserido. Portanto, tal transferência de calor depende das temperaturas do corpo e das superfícies que o circundam, mas como essa transmissão de energia ocorre por meio de ondas eletromagnéticas, ela não depende do ar para que ocorra.

Sendo assim, para se evitar a incidência deste mecanismo de transmissão de calor dentro de ambientes fechados, busca-se a colocação de anteparos entre a fonte emissora e corpo receptor, no caso os trabalhadores.

#### 2.3.1.2 Convecção

Tal mecanismo de troca de calor utiliza da presença de um fluido, no caso o ar, para remoção do calor ou até mesmo inserção de calor para corpos e/ou meios que busquem trocar calor. Portanto, a troca de calor ocorre quando há uma diferença

de temperatura entre corpo e fluido (ar), assim processa-se uma troca de calor por efeito de condução e convecção. Sendo a condução dada pelo contato da película de ar com a pele, já que nesta o calor se propaga de molécula a molécula, sem o transporte de massa.

Desta maneira, com a presença de uma corrente de ar no ambiente, essa troca de calor da pele com o ar se mantém em níveis aceitáveis, gerando sempre uma renovação do ar, garantindo com que este ar esteja “disposto” a trocar calor com o corpo.

### 2.3.1.3 Evaporação

Muitas vezes a radiação e a convecção não conseguem atender de maneira satisfatória as condições para o organismo se manter em equilíbrio térmico, é neste momento em que entra em ação o mecanismo mais importante do nosso corpo para troca de calor, a transpiração.

De maneira geral, as glândulas sudoríparas entram em ação, para que o corpo possa perder calor por meio da evaporação da umidade que se forma na superfície da pele. E toda a energia que faz com que tal umidade evapore é oriunda da temperatura superficial da pele, assim, tal mecanismo utiliza-se do *calor latente de evaporação* da água.

De modo simples, água entra em contato com a pele para que a taxa de remoção de calor do corpo para o meio seja muito maior do que o contato com o ar, portanto temos aí uma troca de fluido do meio.

Convém recordar que o *calor latente* é a quantidade de energia demandada para que ocorra a mudança de estado físico, sem que ocorra simultaneamente, o aumento da temperatura da matéria.

Portanto, em resumo de todos os processos, o movimento do ar tem por efeito:

- ✓ Aumentar a perda de calor por convecção
- ✓ Auxiliar na perda de calor por transpiração

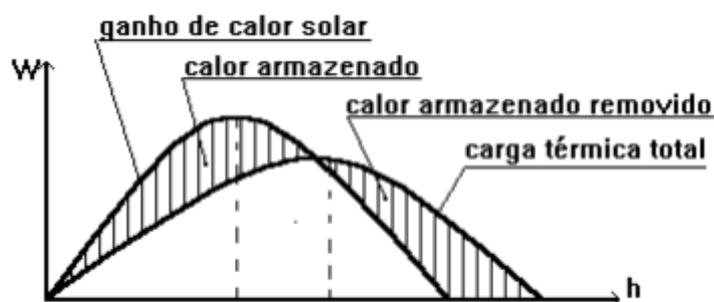
## 2.4 CARGA TÉRMICA

BORRÉ (2013) afirma que a carga térmica se denomina como o calor sensível ou latente a ser fornecido e/ou extraído do ar, por unidade de tempo, para que assim possa se manter no ambiente as condições desejadas. Portanto, para o dimensionamento de um sistema de ventilação adequado, deve se conhecer toda a carga térmica vinculada ao ambiente.

Vale ressaltar que o calor sensível representa o nível energético de um fluido ou um corpo, de forma perceptível e mensurável, e por isso o nome “sensível”. Já o calor latente, assim como já dito anteriormente, se trata de absorção de energia sem aumento de temperatura e ou alteração de pressão (FROTA, 2001).

Deve-se atentar ao fato de que a carga térmica varia com o tempo pois fatores como temperatura externa, insolação, circulação de pessoas e equipamentos e o número de pessoas presentes no ambiente, variam ao longo do dia. E de acordo com tal preposição, há a necessidade de se distinguir também o ganho de calor instantâneo e o ganho de calor da estrutura, Figura 7, ou seja, quando o sol começa a incidir sob uma parede, não quer dizer que a temperatura do recinto aumenta instantaneamente, pois para o efeito da insolação, isso tratando-se de materiais 100% opacos, se tornar carga térmica no ambiente, é necessário que primeiramente tenhamos um acréscimo de temperatura na parede. Já por exemplo equipamentos elétricos ou até mesmo motores, estes estão dissipando calor no ambiente e elevando a carga térmica do ambiente de uma maneira quase que instantânea (FROTA, 2001).

**Figura 7 - Carga térmica na estrutura da edificação**



Fonte: Rudmar – Carga térmica em Climatização

E para a determinação da carga térmica de forma satisfatória, alguns pontos devem ser elencados e destacados (MACINTYRE, 1990):

- ✓ Carga térmica devido à insolação
- ✓ Calor liberado pelas pessoas internas ao recinto
- ✓ Carga térmica devida a energia dissipada pelos aparelhos de iluminação
- ✓ Carga térmica devido ao funcionamento de motores elétricos
- ✓ Carga térmica devida a equipamentos em funcionamento no recinto
- ✓ Calor devido à ventilação ou infiltração de ar para o ambiente

Portanto desta maneira, a carga térmica total é obtida somando-se todas as cargas parciais do projeto. Mas para se chegar a valores, algumas noções fundamentais devem ser recordadas.

#### 2.4.1 CALOR

Segundo INCROPERA (2008), o calor pode ser descrito como o grau de agitação das moléculas da matéria, sendo que temperaturas mais altas estão diretamente ligadas às energias moleculares mais altas. Mas cuidado, não devemos confundir a quantidade de energia de um fluido e/ou corpo com sua temperatura.

#### 2.4.2 CAPACIDADE TÉRMICA

Segundo MACINTYRE (1990), a capacidade térmica é expressa como a quantidade de calor necessária para se produzir um determinado acréscimo de temperatura em uma determinada quantidade de matéria. Ou seja, esta propriedade é expressa como variação de temperatura ( $\Delta T$ ) causada com o acréscimo de energia no sistema ( $\Delta Q$ ).

Tal propriedade pode ser descrita como (Equação 2):

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta T} \quad (2)$$

Podendo  $C$  ser expresso em kcal/°C ou Btu/°F.

### 2.4.3 CALOR ESPECÍFICO

Ainda segundo MACINTYRE (1990), o calor específico é a razão entre a capacidade térmica do corpo e a massa ( $m$ ) que o compõe (Equação 3).

$$c = \frac{C}{m} \quad (3)$$

Sendo, esta, no Sistema Internacional (SI) descrita com a unidade de joule por quilograma por graus Celsius (J/kg°C).

Desta forma a taxa de acréscimo de energia em um sistema, Equação 4, também pode ser descrito por:

$$\Delta Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (4)$$

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 CONDIÇÕES DE ANÁLISE

O estudo de caso que segue foi realizado em uma indústria metalúrgica situada na região dos Campos Gerais, mais especificamente em Ponta Grossa, caracterizada pela produção de diversos componentes, indo desde chapas lisas e soldadas, até componentes eletrônicos mais complexos.

Tal estudo, foi realizado junto aos trabalhadores, e foca na avaliação e percepção do ambiente térmico no chão de fábrica, tendo como principal motivação o bem-estar de tais trabalhadores em seu dia a dia, buscando desta forma aumentar sua produtividade, oferecendo assim melhores condições de trabalho.

As condições climáticas tomadas para análise do sistema foram de acordo com o plano diretor participativo de Ponta Grossa, e com dados meteorológicos do CPTEC (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos) da região. Portanto, desta forma, as condições ambientais adotadas para o projeto foram com temperatura de pico do dia de 34°C e interna ao recinto de 27°C de bulbo seco.

Recomenda-se, todavia, que a temperatura de bulbo seco interna a recintos não ultrapasse os 27°C, de acordo com norma NBR 16401, o que, entretanto, para alguns processos produtivos isso acabe se tornando inviável.

Condições de análise, como o número de trocas volumétricas de ar requerida para o ambiente, de 6 a 20 de acordo com norma NBR 16401, e a vazão de ar que deve ser oferecida por colaborador no chão fabril, acabam sendo decisivas para o estudo, sendo este último critério, de acordo com *Handbook of Air Conditioning System Design*, da Carrier Air Conditioning Co, para Fábricas em geral, é recomendado uma vazão de 17 m<sup>3</sup>/h por pessoa no ambiente.

#### 3.2 ESPAÇO FÍSICO

As características, dados e dimensões do espaço físico em questão foram feitos por meio de inspeção direta e fornecimento da planta baixa do local para que assim pudessem ser elencadas características como área de chão fabril, dimensões das aberturas, como portas e acessos ao barracão, pé direito, fachadas e também

dados acerca da disposição de layout fabril, afim de se analisar também a influência de tal disposição nos resultados finais.

### 3.3 SETORES DE TRABALHO

Os setores de trabalho foram analisados a partir da observação do espaço físico e seu entorno imediato, identificando desta forma sua localidade na planta.

Tais setores podem ser elencados de maneira separada por uma adequação que acontece dentro do próprio chão fabril sendo estes:

- ✓ Corte e Dobra
- ✓ Solda
- ✓ Pintura

### 3.4 POPULAÇÃO

Os trabalhadores que foram elencados em tal estudo, são aqueles que possuem tanto posto fixo ou não, podendo transitar por todo o barracão. Sendo assim, toda a população em atividade registrada em tal recinto, ou seja, operadores que estão registrados em tal setor da fábrica estão sendo elencados no estudo.

### 3.5 MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS

Para quantificação e levantamento das máquinas e equipamentos que estão dispostos em todo o layout da fábrica, foram consideradas não apenas aquelas que estão fixadas no barracão, mas também aquelas que acessam o mesmo, assim como o caso das empilhadeiras.

O barracão também conta com a disposição de duas linhas de pintura a pó, das quais são compostas por banhos a quente para limpeza das peças, etapas de secagem e por fim, estufa para sinterização da tintura nas peças, sendo esta última etapa mantida a uma temperatura média de 210 °C para atender as requisições do sistema e garantir a qualidade final do produto.

Além das considerações anteriores, temos ainda a disposição de motores elétricos que constam dentro do galpão e também das máquinas de solda,

responsáveis por boa parte do calor emanado no piso fabril (Equação 5), que se mantém operando com 13 postos de trabalho.

$$Q_{s\ solda} = V \cdot I \quad (5)$$

Sendo  $V$  a tensão oferecida na bancada de solda, que no caso são todas as bancadas trifásicas, e  $I$  a corrente de consumo do aparelho de solda.

Já para a carga dissipada pelos motores elétricos (Equação 6), devemos levar em consideração a eficiência destes que de acordo com a fabricante, WEG, oferecem cerca de 85% de eficiência.

$$Q_{s\ motores} = \left( \frac{P}{n} - P \right) \cdot 733 \quad (6)$$

Sendo  $P$  a potência do motor dada em cv e  $n$  a eficiência do mesmo.

### 3.6 INSOLAÇÃO PREDIAL

Acerca da insolação predial, esta carga térmica é devida exclusivamente à incidência de raios solares sob as paredes e/ou cobertura da estrutura, que no estudo em questão, tem-se paredes recobertas por telhas metálicas com nenhum tipo de isolamento térmico e um teto recoberto por telhas de polycarbonato, assim como pode ser visto na Figura 8 a seguir.

**Figura 8 - Identificação do galpão e posicionamento geográfico da estrutura**



Fonte: Site da empresa

E como sabe-se, a transferência de calor para o recinto, resultante da insolação, depende muito das características físicas das superfícies expostas a tal, principalmente por características como a transmissibilidade, refletividade e absorvidade, sendo esta tanto térmica tanto quanto luminosa.

Portanto, como pode se notar na foto acima, temos um galpão com grandes dimensões, tendo suas paredes voltadas tanto para o Sul, Sudeste, Leste e Nordeste, isoladas termicamente, pois nestas estão situados escritórios com ambientes climatizados, portanto a insolação associada a tais paredes acaba não acarretando em mais carga térmica ao ambiente fabril.

Por fim, as configurações de altura de pé direito que o barracão apresenta são bem distintas, pois a construção do mesmo não aconteceu em apenas uma etapa, sendo assim, a consideração a ser feita para o estudo foi a de uma altura de 7.500mm, representando de forma satisfatória todo o ambiente.

### 3.7 ILUMINAÇÃO

A carga térmica associada à iluminação do ambiente está diretamente ligada a potência dissipada pelas lâmpadas presentes em tal recinto. Vale ressaltar que o chão fabril passou a pouco tempo por uma renovação em sua iluminação interna, sendo todas as lâmpadas fluorescentes, presentes anteriormente, substituídas por lâmpadas de LED, ou seja, lâmpadas “frias” que acabam dissipando menos calor, principalmente pelo fato de estas nas apresentarem reatores para geração de luminosidade.

### 3.8 VENTILAÇÃO OU INFILTRAÇÃO DE AR NO AMBIENTE

Como já citado anteriormente, sabe-se que há uma movimentação natural do ar dentro de galpões, ainda mais este apresentando ventiladores e/ou exaustores em sua planta, tanto quanto aberturas, onde o ar possa circular livremente dentro do ambiente. Portanto, de maneira geral, este ar externo, que pode estar sendo insuflado para o ambiente interno, acaba que por si só substituindo o ar interno ao recinto, que

por diferença de pressão e também por infiltração acaba “escapando” para o ambiente.

O barracão em questão apresenta aberturas em suas laterais, tanto Sudeste como Noroeste e também em sua parte traseira, no caso, voltada para a região Sudoeste, assim como já mostrado na Figura 8.

Portanto o calor sensível devido ao ar externo pode ser calculado por meio da seguinte equação:

$$Q_{s\text{ ventilação}} = \rho_L \cdot c_p \cdot V_e (t_e - t_i) \quad (5)$$

Sendo  $Q_{s\text{ ventilação}}$  a carga térmica devido ao ar externo (W),  $\rho_L$  a densidade do ar,  $c_p$  o calor específico do ar (kJ/kg K),  $V_e$  a vazão do ar externo para o recinto (L/s) e  $t_e$  e  $t_i$  sendo as temperaturas externas e internas respectivamente.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para se dar início a qualquer tipo de análise a respeito do ambiente em questão, deve-se manter em vista o estado atual do recinto como um todo, desde suas operações, funcionamento de maquinários e também as escalas de trabalho dentro do chão fabril, para que assim possamos analisar as situações mais críticas que possam ser encontradas no chão fabril.

Portanto, como já citado anteriormente, algumas contribuições para a carga térmica interna ao recinto se destacam dentro do meio, sendo estas:

- ✓ Carga térmica devido à insolação
- ✓ Calor liberado pelas pessoas internas ao recinto
- ✓ Carga térmica devida a energia dissipada pelos aparelhos de iluminação
- ✓ Carga térmica devido ao funcionamento de motores elétricos
- ✓ Carga térmica devida a equipamentos em funcionamento no recinto
- ✓ Calor devido à ventilação ou infiltração de ar para o ambiente

### 4.1 INSOLAÇÃO

A contribuição que tal mecanismos tem para com a carga térmica do ambiente pode ser determinada quando se sabe qual a área superficial exposta a tal insolação e qual as características de tais paredes. E assim como já tratado anteriormente no item 3.6, tem-se em mãos os dados de área de exposição à insolação e sua respectiva direção, podendo esta ser visualizada a seguir na Tabela 1.

**Tabela 1 - Especificação das superfícies expostas à insolação**

<i>Superfície</i>	<i>Direção</i>	<i>Área (m<sup>2</sup>)</i>	<i>Material</i>	<i>Acabamento</i>
Parede	NO	345	Aço Galvalume	RAL 1015 BEGE
Parede	O	626,25	Aço Galvalume	RAL 1015 BEGE
Teto	-	4.164,75	Policarbonato	Translúcido

**Fonte: Autoria própria**

As telhas metálicas instaladas nas laterais do galpão são telhas do modelo TPR 40, com espessura de 0,65mm, portanto, segundo fabricante, quando estas são expostas à uma radiação solar de 850W/m<sup>2</sup>, essas apresentam uma transmissibilidade de calor para o interior dos recintos de 65W/m<sup>2</sup>, ou seja, cerca de 7,6% do calor incidente sob a superfície da telha, acaba sendo emanado para o recinto.

Agora tratando-se acerca das telhas de Policarbonato, das quais estão dispostas em toda a cobertura do barracão, de acordo com GALINDO (2015), as temperaturas máximas atingidas durante o dia giram em torno de 47°C de pico, sendo que estas oferecem uma resistividade térmica de 3 W/m<sup>2</sup>K de acordo com fabricante.

Por fim, de acordo com as condições de análise já pré-definidas, a Tabela 2 a seguir, apresenta os dados referentes a carga térmica vinculada ao ambiente.

**Tabela 2 - Carga Térmica associada a insolação**

<i>Superfície</i>	<i>Direção</i>	<i>Área (m<sup>2</sup>)</i>	<i>Carga Térmica (kW)</i>
<i>Parede</i>	NO	345	22,42
<i>Parede</i>	O	626,25	17,05
<i>Teto</i>	-	4164,75	249,89

**Fonte: Autoria própria**

#### 4.2 PESSOAS INTERNAS AO RECINTO

Para determinação do número de ocupantes ao recinto, foram elencados todos os trabalhadores que estão registrados à tais dependências, sendo este tanto de postos fixos de trabalho e até mesmo aqueles que tem certa movimentação dentro das dependências.

Desta forma, foram identificados no total, 131 trabalhadores operando desde as 7:30 da manhã até as 17:00, horário de término do turno principal.

Portanto, como de acordo com a NBR 16401, o metabolismo médio de uma pessoa operando dentro de um setor fabril com trabalho moderadamente pesado, acaba liberando cerca de 252 kcal/h, sendo este a somatória do calor sensível e latente, ou seja 293,09 W por colaborador, tendo assim, ao final de tal, uma capacidade de dissipação de 38,395 kW no recinto.

### 4.3 ILUMINAÇÃO

Dentro das dependências do galpão tem-se a instalação de 230 lâmpadas de LED, sendo estas lâmpadas de 64W de potência, modelo AL284.

Tal iluminação predial é mantida ligada durante todo o período de trabalho, ou seja, a iluminação é ligada a 7:30 da manhã, horário de entrada no setor produtivo e desligada apenas as 2:10 da manhã do dia seguinte, no caso, horário de saída do segundo turno de trabalho.

Portanto temos aí uma capacidade de dissipação de energia no ambiente de 14,72 kW.

### 4.4 MOTORES ELÉTRICO E EQUIPAMENTOS

Os motores elétricos dispostos dentro do barracão, tanto quanto os equipamentos, devem ser inicialmente listados, para assim termos uma melhor compreensão de tais, vide Tabela 3.

**Tabela 3 - Lista de Equipamentos internos ao recinto**

<i>Equipamentos</i>	<i>Quantidade</i>
Dobradeira	4
Perfiladeira	6
Estufas de Lavagem	2
Estufas de Secagem	2
Estufas de Polimerização	2
Empilhadeira	3
Solda	13

**Fonte: Aatoria própria**

As dobradeiras e perfiladeiras descritas acima são máquinas que se utilizam de motores elétricos para colocar em funcionamento tanto seus sistemas de bombeamento hidráulico tanto quanto sistemas de engrenagens para as perfiladeiras em questão.

As linhas de pintura, assim como já descrito anteriormente, contemplam as estufas de lavagem, secagem e polimerização. Estas operam por um processo contínuo, onde as peças que devem ser pintadas são transportadas até o interior dos

equipamentos de cada etapa por meio de um transportador de correntes, ou seja, elas irão passar por cada um dos processos, de maneira sequencial.

Todos os processos, desde a lavagem das peças até o processo de cura da tinta, são auxiliados pela utilização de óleo térmico (Anexo A), sendo este disponibilizado para os equipamentos à uma temperatura de 300°C, temperatura de projeto, passando assim por trocadores de calor, sendo interface óleo ar, ou até mesmo óleo água. O óleo opera em ciclo fechado e é fornecido por outra empresa vizinha, da qual tem a disposição uma caldeira para fazer o aquecimento, abastecimento e fornecimento do óleo para toda a rede de distribuição.

Elucidando acerca dos processos aplicados às linhas de pintura a pó, a lavagem acontece com água sendo aspergida nas peças, onde é aquecida por meio do óleo térmico, e sendo mantida à 70°C de temperatura média. O volume de água utilizado nas linhas são de 5m<sup>3</sup> cada, ou seja, temos aí um total de 10m<sup>3</sup> de água a serem mantidos a 70°C, pois tratam-se de duas linhas operantes de pintura a pó.

Já o processo de secagem, posterior à lavagem, este acontece com utilização de queimadores, auxiliados também pela utilização de óleo térmico, operando com trocadores interface óleo ar.

Dentro das estufas de secagem, queimadores operam com a injeção de gás natural para a queima e geração de calor, sendo tal processo auxiliado pela utilização do óleo térmico principalmente na quebra da inércia térmica da estufa.

Por fim, com as peças já secas e prontas para receber a tinta, essas passam pela aspersão da tinta em pó e entram na última etapa, que é a etapa de sinterização da tinta sob a superfície das peças. E para que tal processo possa operar de maneira satisfatória, garantindo a qualidade final das peças, estas devem ser mantidas na estufa de cura à uma temperatura mínima de 210°C por cerca de 15 minutos. Assim, se garante uma homogeneidade em toda a camada de tinta.

Ainda acerca do óleo térmico, os dados referentes às suas temperaturas tanto de entrada no sistema como de saída foram fornecidos pela própria empresa que faz todo o controle do mesmo, portanto este apresentou um gradiente médio de temperatura dentro do ano de 2019 de 8,2 °C em todo o sistema.

Por fim, internos ao recinto, circulam 3 empilhadeiras STILL RC44-25 C, atendendo todo o transporte interno tanto de peças acabadas como de matéria prima e mais 13 postos de trabalho de solda, operando com o equipamento BAMBOZZI TMC 400 S.

Assim, para melhor quantificação dos dados acerca dos componentes e toda a carga dissipada dentro do recinto, a seguir, apresentasse a Tabela 3, com a relação dos componentes e suas respectivas cargas térmicas.

**Tabela 4 - Cargas Térmicas de Componentes internos ao recinto**

<i>Equipamentos</i>	<i>Quantidade</i>	<i>Carga Térmica (kW)</i>
Dobradeira	4	3,88
Perfiladeira	5	12,61
Estufas de Lavagem	2	615,90
Estufas de Secagem	2	833,14
Estufas de Polimerização	2	1518,85
Empilhadeira	3	105,00
Solda	13	13,30

**Fonte: Autoria própria**

Portanto, temos aí uma carga térmica dissipada dentro do ambiente de cerca de 3102,7 kW apenas devido aos componentes internos a este.

#### 4.5 VENTILAÇÃO E INFILTRAÇÃO DE AR PARA O AMBIENTE

Por fim, tratando-se acerca da ventilação e infiltração de ar que há no ambiente, de acordo com a Equação 5, se torna necessário a mensuração da vazão de ar que se tem para com o recinto, e para tal quantificação, de acordo com os componentes já instalados no galpão, vide Anexo B, dos quais estão elencados a seguir:

- ✓ 2 - Roto 180 Confort
- ✓ 2 - Roto 160 Confort
- ✓ 1 - Roto 155 Siroco

A ventilação obtida por meio das aberturas para o ambiente juntamente com tais componentes é de um total de 321.612,5 m<sup>3</sup>/h, sendo 299.000 m<sup>3</sup>/h devido aos componentes e mais 22.612,5 m<sup>3</sup>/h devido às aberturas que há no barracão, sendo tais infiltrações baseadas na velocidade de 15 km/h para o vento.

Portanto, tem-se assim, uma carga térmica associada a tal infiltração de ar externo de 45,44 kW devido as aberturas. Mas um ponto importante a ser realçado é que os ventiladores existentes na planta operam com cortina d'água, ou seja, utilizam-

se de um sistema evaporativo para redução da temperatura de insuflação, dos quais conseguem entregar, de acordo com dados de fabricante, com tomada de ar externo à 32°C, 23,6°C de temperatura de insuflação, logo abaixo da temperatura interna do ambiente, portanto temos aí uma contribuição já implementada no recinto para remoção da carga térmica interna da qual deve ser quantificada.

Portanto, ao final de todo o balanceamento do sistema, chegamos à uma carga térmica total de 3445,2 kW, ou seja, se quantificarmos tais valores em Toneladas de Refrigeração (TR), temos 981,61 TR internas ao recinto, e a partir de tal dado em mãos podemos utilizar-se de abordagens diferentes para análise das vazões requeridas pelo sistema, sendo a primeira abordagem apenas pela vazão volumétrica que o ambiente deve apresentar, que segundo NBR 16401 e já descrito anteriormente no item 3.1, são de 17 m<sup>3</sup>/h de vazão de ar requerida. Já a segunda abordagem trata da necessidade de troca volumétrica que o ambiente deve ofertar de acordo com o volume interno do recinto, sendo esta necessidade, de acordo com normativa, ofertada à uma taxa recomendável de 6 a 20 trocas no ambiente.

Por fim, outro método de análise se descreve por meio da remoção de toda a carga térmica associada ao ambiente, e para que que tal carga possa ser retirada de todo o ambiente, de acordo com MACINTYRE (1990), a vazão de ar necessária para remoção desta pode ser determinada de acordo com a Equação 6 a seguir.

$$V_{ar} = \frac{Q_{total}}{20,1 \cdot \Delta T} \quad (6)$$

Sendo  $Q_{total}$  a carga térmica total vinculada ao ambiente dada em Kcal/h e  $\Delta T$  a diferença de temperatura entre o ar que é insuflado no ambiente e a temperatura interna ao recinto, obtendo assim a vazão requerida de ar ( $V_{ar}$ ) em m<sup>3</sup>/min.

Portanto, tomando tal equação como referência, tem-se que a vazão de ar necessária para se manter o ambiente interno ao recinto com temperatura de 27°C, de acordo com a premissa da necessidade de retirada de toda a carga térmica vinculada a este, é de 39.832,67 m<sup>3</sup>/min, ou melhor, cerca de 2.389.959,8 m<sup>3</sup>/h.

Já tomando como ponto de referência de análise a segunda abordagem, sendo esta de acordo com o volume do barracão e as trocas volumétricas que o mesmo exige, do qual apresenta 31.235,63 m<sup>3</sup>, o número de trocas volumétricas que

devem ser é de 6 a 20 trocas como recomendado, vide normativa NBR 16401, portanto temos assim uma vazão volumétrica requerida de 406.063,13 m<sup>3</sup>/h.

Tomando-se como ponto referencial de análise apenas o número de ocupantes do recinto e de acordo com a vazão volumétrica de ar que deve ser oferecida, assim como já citado anteriormente, estaríamos lidando com uma vazão requerida de 8.908 m<sup>3</sup>/h.

Durante o presente estudo, ficou claro que a avaliação da contribuição de cada setor na carga global é imprescindível. A contribuição percentual de cada setor em relação a carga global se apresenta na Tabela 5.

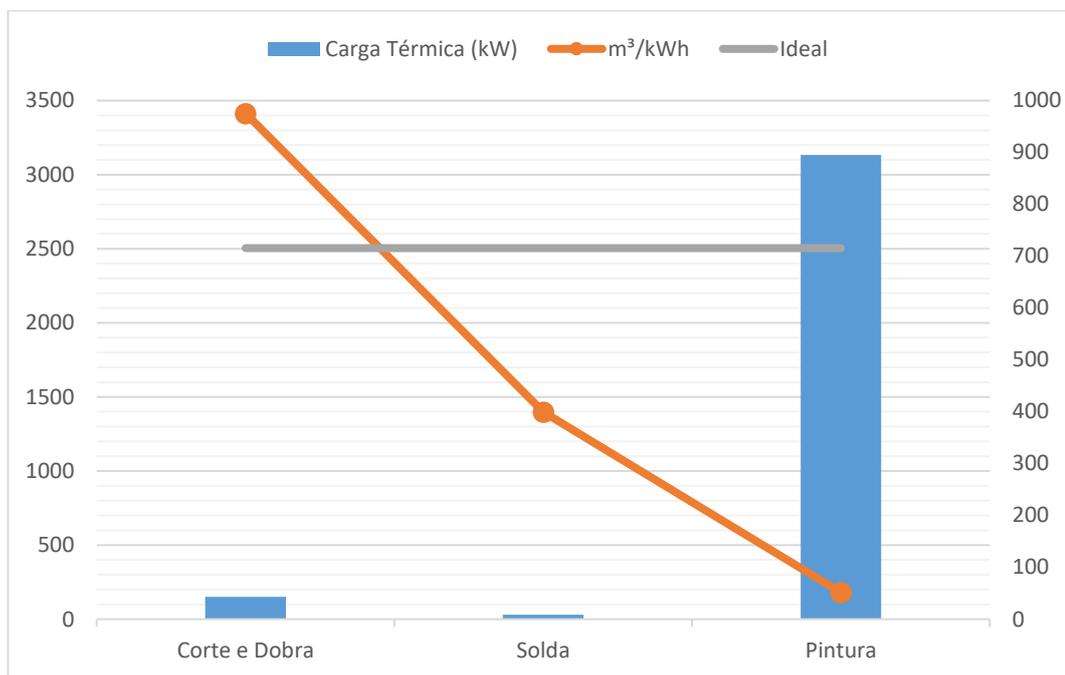
**Tabela 5 - Estratificação das Cargas Térmicas vinculadas ao ambiente**

<i><b>Estratificação</b></i>	<i><b>Carga Térmica (kW)</b></i>	<i><b>Contribuição na carga global</b></i>
Pessoas	38,39	1,15%
Iluminação	14,72	0,44%
Insolação Predial	289,36	8,66%
Solda	13,30	0,40%
Corte e Dobra	16,49	0,49%
Pintura	2967,88	88,86%

**Fonte: Autoria própria**

Assim, pode se verificar que 88% da carga global se refere as linhas de pintura a pó, no caso, as linhas de pintura 1 e 2.

Mas ainda tendo como ponto referencial de análise os ventiladores e a vazão oferecida ao barracão, mais uma análise torna-se pertinente a ser apresentada, sendo essa uma estratificação setorial de acordo com sua geração de calor e a ventilação que recebe (Gráfico 1).

**Gráfico 1 – Carga térmica estratificada e oferta de ar por setor**

**Fonte: Autoria própria**

Para um melhor entendimento acerca dos dados apresentados, a taxa de remoção de carga térmica interna ao ambiente, neste caso representada pela curva em alaranjado, descreve qual o volume de ar ofertado para cada setor a cada hora de trabalho para que esse possa fazer a remoção de 1 kW de energia térmica do ambiente.

## 5 CONCLUSÃO

Ao final deste estudo de caso, pôde-se quantificar a influência que cada um dos setores, pessoas e ou até mesmo os componentes dispersos em todo o chão fabril em relação a carga térmica total. Facilmente percebe-se que há uma carga térmica muito desigual entre os setores da fábrica, o que requer tratamento individualizado da ventilação para conforto.

Para determinação da carga térmica, fez-se necessário um levantamento geral de especificações e dados de dissipação dos equipamentos antigos dispostos na planta fabril. No caso das linhas de pintura, houve uma dificuldade adicional, devido as constantes alterações do projeto original (1997). Desta forma, o histórico do consumo de calor a partir do fornecimento de óleo térmico foi decisivo para a determinação dos dados termodinâmicos e conseqüentemente para o cálculo de carga deste importante setor.

Para que se possa cumprir o principal objetivo do trabalho, uma comparação entre as vazões fornecidas pelo atual sistema e as vazões requeridas pela carga setorizada é fundamental. Em concordância com a análise térmica realizada, foram apresentados os valores de vazões volumétricas de ar: 2.389.959,8 m<sup>3</sup>/h de acordo com o critério da carga térmica do ambiente, 406.063,13 m<sup>3</sup>/h respeitando-se o número recomendado de trocas volumétricas de ar e por fim 8.908 m<sup>3</sup>/h para se atender a vazão de ar requerida pelo número de colaboradores dispostos no chão fabril. Sabe-se que o somatório das vazões dos ventiladores instalados e as vazões das aberturas do recinto são de 321.612,5 m<sup>3</sup>/h, desta forma, pode-se afirmar que se levando-se em conta apenas a quantidade de funcionários, o critério está sendo atendido com sobras. Já, quanto ao número de trocas volumétricas que devem ser oferecidas, o sistema atual apresenta-se abaixo do esperado.

O levantamento destes critérios são cruciais na análise deste cenário, pois de acordo com a carga térmica do ambiente, apenas 13,46% de toda a requisição térmica será atendida.

Portanto, tomando como vazão de ar ideal, uma taxa de 715,53 m<sup>3</sup>/kWh, advinda da vazão de ar necessária para remoção da carga térmica do ambiente, temos ambientes onde os pré-requisitos são muito bem atendidos, como todo o setor de corte e dobra, do qual fica disposto na parte central do barracão e com direcionamento direto de insuflação de ar pelos ventiladores instalados no chão de

fábrica, e setores como o de solda e pintura, apresentando-se bem abaixo do níveis requeridos de vazão.

## REFERÊNCIAS

ALVES, Welington R. S. **Análise da temperatura ocupacional e do conforto térmico dentro do setor de produção de uma indústria têxtil.** Curitiba. 2017.

ASHRAE Standard 55. **Thermal environmental conditions for human occupancy.** American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, GA, 2010.

ASHREA **Fundamental Handbook.** Atlanta, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR-6401: **instalações centrais de ar condicionado para conforto – parâmetros de projeto,** Rio de Janeiro. 1980

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

BARBIERO, Miriam. **Avaliação das Percepções quanto ao Ambiente Térmico em uma indústria metalúrgica.** Porto Alegre; 2004.

BORRÉ, Régis Leandro. **Sistemas de Ventilação em Ambiente Industrial.** Panambi; 2013.

CLEZAR, Carlos A; Antônio C. R. Nogueira. **Ventilação Industrial.** Florianópolis: Ed..da UFSC,1999.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de Conforto Térmico.** 5ª ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

GELESKI, André. **Dimensionamento de um sistema de ventilação Local Exaustora para fumos metálicos.** Horizontina. 2015

GUIMARÃES, Juliana B. **Dimensionamento de sistema de Ventilação Forçada para um estacionamento em subsolo,** Porto Alegre; 2010.

INCROPERA, Frank P.; Dewitt, David P.; Bergman, Theodore L.; Lavine, Adrienne S. **Fundamentos de Transferência de Calor e Massa**, 6ª edição. Tradução e Revisão Técnica de Queiroz, Eduardo M. e Pessoa, Fernando L.P. Editora LTC, Rio de Janeiro, 2008.

**Instituto Nacional de Pesquisa Energética (INPE)**. Estações. Mapas de Climatologia de Temperaturas Máximas e Mínimas. Disponível em: <<http://clima1.cptec.inpe.br/estacoes/pt#>>. Acesso em 12 de Setembro de 2019.

IKEMATSU, Paula. **Estudo da refletância e sua influência no comportamento térmico de tintas refletivas e convencionais de cores correspondentes**. Departamento de Engenharia Civil e Urbana da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.

LIED, Eduardo Borges. **Dimensionamento de sistema de ventilação local Exaustora (VLE): um estudo de caso de uma indústria de móveis**. Estudos Tecnológicos, jan/abr. 2011.

MACINTYRE, A.J. **Ventilação Industrial e Controle a Poluição**. 2ª Ed. Rio de Janeiro: LTC, 1990.

MAZON, Ana A.O. **Ventilação natural em galpões: o uso de lanternins nas coberturas**. Ouro Preto, Abr/jun. 2006.

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

NOGUEIRA, Carla. **Ventilação não invasiva (VNI)**. *Rev. Port Pneumol.* 2009, vol.15, n.4.

PAIXÃO, Rosimary C. **Avaliação do Desempenho Térmico de Coberturas de Policarbonato e Acrílico**. 19º Congresso de Iniciação científica, 08 a 10/11, 2011;

RIVERO, R. **Arquitetura e Clima: Acondicionamento térmico natural**. Porto Alegre: Dc-Luzzatto; 1986.

RUAS, Álvaro Cesar. **Conforto Térmico nos Ambientes de Trabalho**. Fundacentro, 1999.

SALIBA, Tuffi M. **Curso Básico de Segurança e Higiene Ocupacional**. 2ª Edição. Editora São Paulo. São Paulo, 2008.

SANTOS, Rodrigo C. et al. **Análise de coberturas com telhas de barro e alumínio, utilizadas em instalações animais para duas distintas alturas de pé-direito**. Rev. bras. eng. agríc. ambient. 2002, vol.6, n.1

SOUSA, Ricardo B. C. de. **Conforto térmico de operadores de tratores agrícolas submetidos a diferentes condições de operação de preparo de solo**. Fortaleza. 2014.

# ANEXOS

## ANEXO A – Especificações Técnicas Óleo Térmico, Therminol 59

**THERMINOL® 59**  
heat transfer fluid

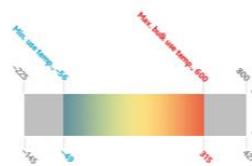
Wide operating range with excellent low-temperature performance

**-49° to 315°C**  
(-56° to 600°F)

**THERMINOL**  
Heat transfer fluids by Eastman

### THERMINOL® 59

heat transfer fluid



Eastman Therminol® 59 heat transfer fluid offers excellent low-temperature pumping characteristics (pumpable at -49°C/-56°F) for problem-free start-ups in cold climates while offering thermal stability at maximum bulk temperatures up to 315°C (600°F).

Therminol 59 is available globally. Contact your local Eastman Therminol sales representative for more information.

### Physical and chemical characteristics

Therminol 59 fluid is designed for use in nonpressurized/low-pressure, indirect heating systems. While Therminol 59 has a relatively high normal boiling point (289°C/553°F), the recommended maximum bulk (215°C/600°F) and film (345°C/650°F) temperatures are greater. Therefore, proper care should be taken in the design of the system to minimize leakage, especially when operating above a bulk fluid temperature of 288°C (550°F).

The recommended maximum bulk and film temperatures for Therminol 59 are based on industry-standard thermal studies. Operation at or below these temperature maximums can provide long service life under most operating conditions.

Actual fluid life is dependent on the total system design and operation and can vary by heat transfer fluid chemistry. As fluid ages, the formation of low- and high-boiling compounds may result. Low-boiling compounds should be vented from the system as necessary to a safe location away from personnel and sources of ignition and in compliance with applicable regulations and laws. The high-boiling compounds can be very soluble in the fluid. Significant overheating or fluid contamination will accelerate decomposition and may result in increased high-boiler and solids concentrations. Excess solids can typically be filtered for removal.

Eastman recommends that systems utilizing Therminol 59 fluid should be maintained with an atmosphere of inert gas to protect against the effects of fluid oxidation on its performance and life expectancy. Pressure relief device(s) should be installed where required.

Therminol 59 is noncorrosive to metals commonly used in the construction of heat transfer systems.

While Therminol 59 has a relatively high flash point, it is not classified as a fire-resistant heat transfer fluid. Consequently, the use of protective devices may be required to minimize fire risk, and users of Therminol 59 should check with their safety and risk management experts for specific instructions.

### Typical properties\*

Appearance	Clear, yellow to dark amber liquid
Composition	Alkyl-substituted aromatic
Maximum bulk temperature	215°C (600°F)
Maximum film temperature	345°C (650°F)
Normal boiling point	289°C (553°F)
Pumpability, at 300 mm/s (60)	-37°C (-30°F)
Pumpability, at 2000 mm/s (650)	-49°C (-56°F)
Flash point, COC (ASTM D-92)	146°C (295°F)
Flash point, PMCC (ASTM D-93)	132°C (270°F)
Autoignition temperature (ASTM E-658)	372°C (702°F)
Autoignition temperature (DIN 51756)	404°C (760°F)
Pour point (ISO 3016)	-68°C (-90°F)
Minimum liquid temperatures for fully developed turbulent flow (Nu <sub>0.2</sub> > 10,000)	
10 ft/s, 1-in. tube (0.048 m/s, 2.54-cm tube)	17°C (62°F)
20 ft/s, 1-in. tube (0.096 m/s, 2.54-cm tube)	0°C (32°F)
Minimum liquid temperatures for transitional region flow (Nu <sub>0.2</sub> > 2,000)	
10 ft/s, 1-in. tube (0.048 m/s, 2.54-cm tube)	-16°C (4°F)
20 ft/s, 1-in. tube (0.096 m/s, 2.54-cm tube)	-24°C (-12°F)
Coefficient of thermal expansion at 20°C	0.000662/°C (0.000252/°F)
Heat of vaporization at maximum use temperature	226.9 kJ/kg (87.5 Btu/lb)
Total acidity (ASTM D-664)	<0.2 mg KOH/g
Average molecular weight	207
Pseudocritical temperature	514°C (957°F)
Pseudocritical pressure	22.3 bar (323 psia)
Pseudocritical density	787 kg/m <sup>3</sup> (17.9 lb/ft <sup>3</sup> )
Chlorine content, ppm (DIN 51577)	<10 ppm
Copper corrosion (ASTM D-130)	<< 1a
Moisture content, maximum (ASTM E-203)	200 ppm
Dielectric constant @ 22°C (ASTM D-504)	2.52

\*These data are based on sample tests in the laboratory and are not guaranteed for all samples. Contact us for complete test specifications for Therminol 59 fluid. Does not constitute an express warranty. See disclaimer on the back page of this bulletin.

To create your own customized table with preferred properties, units of measure, and temperature intervals, visit [Therminol.com/resources](http://Therminol.com/resources) and download the Therminol heat transfer fluid calculator.

For technical service, visit the contact page of our website, [Therminol.com](http://Therminol.com).

### Typical properties of Therminol® 59 heat transfer fluid by temperature\* (SI UNITS)

Temperature	Liquid density	Liquid heat capacity	Heat of vaporization	Liquid enthalpy	Liquid thermal conductivity	Liquid viscosity	Vapor pressure
°C	kg/m <sup>3</sup>	kJ/kg·°C	kJ/kg	kJ/kg	W/m·K	cP (mPa·s)	kPa
-40	956	1.62	267.2	-47.1	0.1256	2050	2000
-30	952	1.62	267.2	-47.1	0.1256	2050	2000
-20	948	1.62	267.2	-47.1	0.1256	2050	2000
-10	944	1.62	267.2	-47.1	0.1256	2050	2000
0	940	1.62	267.2	-47.1	0.1256	2050	2000
10	936	1.62	267.2	-47.1	0.1256	2050	2000
20	932	1.62	267.2	-47.1	0.1256	2050	2000
30	928	1.62	267.2	-47.1	0.1256	2050	2000
40	924	1.62	267.2	-47.1	0.1256	2050	2000
50	920	1.62	267.2	-47.1	0.1256	2050	2000
60	916	1.62	267.2	-47.1	0.1256	2050	2000
70	912	1.62	267.2	-47.1	0.1256	2050	2000
80	908	1.62	267.2	-47.1	0.1256	2050	2000
90	904	1.62	267.2	-47.1	0.1256	2050	2000
100	900	1.62	267.2	-47.1	0.1256	2050	2000
110	896	1.62	267.2	-47.1	0.1256	2050	2000
120	892	1.62	267.2	-47.1	0.1256	2050	2000
130	888	1.62	267.2	-47.1	0.1256	2050	2000
140	884	1.62	267.2	-47.1	0.1256	2050	2000
150	880	1.62	267.2	-47.1	0.1256	2050	2000
160	876	1.62	267.2	-47.1	0.1256	2050	2000
170	872	1.62	267.2	-47.1	0.1256	2050	2000
180	868	1.62	267.2	-47.1	0.1256	2050	2000
190	864	1.62	267.2	-47.1	0.1256	2050	2000
200	860	1.62	267.2	-47.1	0.1256	2050	2000
210	856	1.62	267.2	-47.1	0.1256	2050	2000
220	852	1.62	267.2	-47.1	0.1256	2050	2000
230	848	1.62	267.2	-47.1	0.1256	2050	2000
240	844	1.62	267.2	-47.1	0.1256	2050	2000
250	840	1.62	267.2	-47.1	0.1256	2050	2000
260	836	1.62	267.2	-47.1	0.1256	2050	2000
270	832	1.62	267.2	-47.1	0.1256	2050	2000
280	828	1.62	267.2	-47.1	0.1256	2050	2000
290	824	1.62	267.2	-47.1	0.1256	2050	2000
300	820	1.62	267.2	-47.1	0.1256	2050	2000
315	812	1.62	267.2	-47.1	0.1256	2050	2000

\*Minimum recommended bulk temperature: 315°C (600°F). These data are based on sample tests in the laboratory and are not guaranteed for all samples. Contact us for complete test specifications for Therminol 59 fluid. †Liquid enthalpy based on 0°C (32°F). ‡COC = 146°C (295°F). §PMCC = 132°C (270°F). ¶ISO 3016 = -68°C (-90°F). \*\*0.000662/°C (0.000252/°F).

## ANEXO B – Catálogo componentes RotoPlast.



**Climatizadores Evaporativos**

A MAIOR EMPRESA DA AMÉRICA LATINA  
CATÁLOGO DE PRODUTOS | 2018

## Rotoplast

A EVOLUÇÃO COM NOVOS ARES

A Rotoplast é especializada no desenvolvimento e viabilização de projetos de climatização evaporativa.

É líder de mercado em seu segmento, e a sua variedade de produtos atende os mais diversos tipos de ambientes, com a qualidade que cada cliente precisa e merece.

A busca constante por inovação e tecnologia de ponta, contribui significativamente na satisfação das pessoas, quanto à climatização ecologicamente correta, além de apresentar excelentes resultados nas linhas industrial, comercial e residencial.

Os produtos estão em todo o Brasil e a comercialização já se estende pela América Latina.

Onde for necessário obter locais saudáveis, com renovação de ar constante, temperatura agradável, conforto térmico e economia de energia, a Rotoplast estará presente.



11 **ROTO 180 Confort**

**Informações técnicas**

**Modelo**  
• Roto 180 Confort

**Vazão**  
• 91.000 m<sup>3</sup>/h

**Consumo de energia**  
• 3,37 kWh

**Dimensão externa**  
• 2000x2400x1250 mm a.u.n

**Abertura da parede**  
• 2010x2010 mm (AL)

**Peso**  
• 300 kg



Tecnologia SMC

Tensão Trifásico  
220v ou 380v

10 Velocidades

Fabricado no Brasil

12 **ROTO 140 Confort**

**Informações técnicas**

**Modelo**  
• Roto 140 Confort

**Vazão**  
• 40.000 m<sup>3</sup>/h

**Consumo de energia**  
• 1,47 kWh

**Dimensão externa**  
• 1380x1780x1230 mm a.u.n

**Abertura da parede**  
• 1390x1390 mm (AL)

**Peso**  
• 200 kg



Tecnologia SMC

Tensão M/F 220v

10 ou 12 Velocidades

Fabricado no Brasil

**ROTO 160 Confort**

**Informações técnicas**

**Modelo**  
• Roto 160 Confort

**Vazão**  
• 57.000 m<sup>3</sup>/h

**Consumo de energia**  
• 1,87 kWh

**Dimensão externa**  
• 1560x1980x1230 mm a.u.n

**Abertura da parede**  
• 1570x1570 mm (AL)

**Peso**  
• 251 kg



Tecnologia SMC

Tensão M/F 220v

10 ou 12 Velocidades

Fabricado no Brasil

**ROTO 100 Confort**

**Informações técnicas**

**Modelo**  
• Roto 100 Confort

**Vazão**  
• 31.000 m<sup>3</sup>/h

**Consumo de energia**  
• 1,47 kWh

**Dimensão externa**  
• 1200x1600x1230 mm a.u.n

**Abertura da parede**  
• 1210x1210 mm (AL)

**Peso**  
• 160 kg



Tecnologia SMC

Tensão M/F 220v

10 ou 12 Velocidades

Fabricado no Brasil

23

**CENTRAL** Evaporativa

## Informações técnicas

**Modelo**  
• Central Evaporativa

**Vazão**  
• 150.000 m<sup>3</sup>/h

**Consumo de energia**  
• 32 kWh

**Dimensão externa**  
• 2389x1320x3300 mm (A x L x P)

**Encaixe para o duto**  
• 1140x1140 mm (AL)

**Peso**  
• 1400 kg

Tensão TIF 220v  
ou 380v

10 Velocidades



Fabricado no Brasil

**ROTO 155** Siroco

## Informações técnicas

**Modelo**  
• Roto 155 siroco

**Vazão**  
• 60.000 m<sup>3</sup>/h

**Consumo de energia**  
• 5,67 kWh

**Dimensão externa**  
• 1420x1880x1810 mm (A x L x P)

**Encaixe para o duto**  
• 760x760 mm (AL)

**Peso**  
• 395 kg



Tecnologia SMC

Tensão TIF 220v  
ou 380v

10 Velocidades



Fabricado no Brasil

**ROTO 115** Siroco

24

## Informações técnicas

**Modelo**  
• Roto 115 siroco

**Vazão**  
• 36.000 m<sup>3</sup>/h

**Consumo de energia**  
• 4,10 kWh

**Dimensão externa**  
• 1230x1600x1640 mm (A x L x P)

**Encaixe para o duto**  
• 520x520 mm (AL)

**Peso**  
• 300 kg



Tecnologia SMC

Tensão TIF 220v  
ou 380v

10 Velocidades



Fabricado no Brasil

**ROTO 85** Siroco

## Informações técnicas

**Modelo**  
• Roto 85 siroco

**Vazão**  
• 22.000 m<sup>3</sup>/h

**Consumo de energia**  
• 1,58 kWh

**Dimensão externa**  
• 980x1100x1150 mm (A x L x P)

**Encaixe para o duto**  
• 440x470 mm (AL)

**Peso**  
• 100 kg



Tecnologia SMC



Controle Remoto



Tensão TIF 220v



12 Velocidades



Fabricado no Brasil

Painel Touch  
Screen