

FACULDADE LABORO
UNIVERSIDADE ESTÁCIO DE SÁ
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DE SEGURANÇA DO
TRABALHO

DIEGO ROSA DOS SANTOS

ESTUDO DE UM SISTEMA DE VENTILAÇÃO INDUSTRIAL

São Luís

2015

DIEGO ROSA DOS SANTOS

ESTUDO DE UM SISTEMA DE VENTILAÇÃO INDUSTRIAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho da Faculdade LABORO, para obtenção do título de Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho.

Orientador: Prof.º Ms. Paulo Roberto C. F. R. F.

São Luís

2015

Santos, Diego Rosa do

Estudo de um sistema de ventilação industrial / Diego Rosa dos Santos. -. São Luís, 2015.

Impresso por computador (fotocópia)

38p.

Trabalho apresentado ao Curso de Engenharia de Segurança do Trabalho da Faculdade Laboro / Universidade Estácio de Sá, como requisito para a obtenção do Título de Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho.-. 2015.

Orientador: Prof. Me. Paulo Roberto Campos Flexa Ribeiro Filho

1. Conforto Térmico. 2. Movimento do ar. 3. Sistema de ventilação. I.
Título

CDU- 697

DIEGO ROSA DOS SANTOS

ESTUDO DE UM SISTEMA DE VENTILAÇÃO INDUSTRIAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho da Faculdade LABORO, para obtenção do título de Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho.

Orientador: Prof.º Ms. Paulo Roberto C. F. R. F.

Aprovado em / /

BANCA EXAMINADORA

Prof.º Ms. Paulo Roberto Campos Flexa Ribeiro Filho (Orientador)

Mestre em Térmica e Fluidos

Universidade Santa Cesilha - Santos/SP

Examinador 1

Examinador 2

DEDICATÓRIA

A Deus, por ter me proporcionado mais
essa vitória em minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ser o dono de minha vida e nele confio e tenho fé, para alcançar os meus objetivos.

Agradeço a minha mãe Marlene, por seus vários anos de dedicação e ensinamentos, pois sem ela não teria conseguido chegar até aqui.

A minha querida esposa, Alciene, por todo o carinho e apoio durante a minha pós-graduação.

A empresa que cedeu a oportunidade de realizar o estudo em questão em suas instalações.

E, a todos aqueles que contribuirão direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

“A mente que se abre a uma nova ideia,
jamais voltará ao seu tamanho original”

Albert Einstein.

RESUMO

Atualmente tem-se diversas pesquisas demonstrando que é possível o conforto térmico com o uso de ventilação natural, em ambientes com atividades pesadas, avaliando-se a temperatura e movimento do ar dentro do ambiente de trabalho. Este trabalho tem por objetivo fornecer uma solução para um melhor conforto térmico em um galpão de calandragem de uma empresa do ramo de construção e manutenção de postos de combustíveis, analisando os trabalhos desenvolvidos e os equipamentos existentes dentro do galpão. Foi realizado um levantamento das condições construtivas e de ventilação do ambiente, afim de proporcionar um melhor conforto térmico considerando o número mínimo de trocas de ar por hora recomendado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas. O trabalho fornece os requisitos básicos para implantação de melhorias no projeto básico do galpão, para melhoria do conforto térmico para os trabalhadores do local em questão.

Palavras chaves: Conforto Térmico; Movimento do ar; Sistema de ventilação.

ABSTRACT

Currently we have several studies demonstrating that it is possible thermal comfort using natural ventilation in environments with heavy activities, evaluating the temperature and air movement within the workplace. This paper aims to provide a solution for better thermal comfort in a calendering shed of a construction sector company and maintenance of gas stations, analyzing the work done and the existing equipment in the shed. A survey of the constructive conditions and environmental ventilation in order to provide better thermal comfort considering the minimum number of air changes per hour recommended by the Brazilian Association of Technical Standards. The work provides the basic requirements for implementation of improvements in the basic design of the shed, to improve the thermal comfort for the site workers concerned.

Key words: Thermal Comfort; Air movement; Ventilation system.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1: circulação de ar num ambiente.....	5
Figura 2.2: circulação de ar num ambiente quando $T_i > T_e$	6
Figura 2.3: casos típicos de ventilação natural em galpões.....	7
Figura 2.4: esquema de um sistema de ventilação local exaustora.....	11
Figura 2.5: Representação esquemática da fisiologia humana e a trocas térmicas.....	13
Figura 3.1: esquema simplificado do layout do galpão.....	27

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1: taxas de metabolismo por atividade.....	14
Quadro 2.2: Absortividade das cores e materiais.....	22
Quadro 2.3: valores médios da resistência superficial interna e externa....	23
Quadro 2.4: Fator solar para alguns tipos de superfícies transparentes....	24
Quadro 2.5: Aquecimento devido a lâmpadas acesas.....	25
Quadro 2.6: ganho de calor em Watts por HP para motores elétricos.....	26
Quadro 3.1: superfície do galpão sujeitas à radiação.....	29
Quadro 3.2: valores de radiação média para planos verticais e horizontais.....	29
Quadro 3.3: propriedades térmicas de telhas aluzinc.....	30
Quadro 3.4: valores do fator solar para telhas translucidas.....	30
Quadro 3.5: cargas térmicas de insolação em cada uma das superfícies do pavilhão.....	30
Quadro 3.6: Cargas térmicas resultantes da condução de calor em cada uma das superfícies do galpão.....	31
Quadro 3.7: Trocas de ar/hora para ambientes.....	32

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 2.1: Vazão de ar através de aberturas sob a ação do vento.....	7
Equação 2.2: trocas entre o corpo humano e o ambiente.....	12
Equação 2.3: balanço de energia entre o corpo e o ambiente.....	15
Equação 2.4: Avaliação do desconforto causado pelas correntes de ar.....	17
Equação 2.5: cálculo do fluxo de calor.....	22
Equação 2.6: carga térmica em planos horizontais (coberturas).....	23
Equação 2.7: carga térmica em planos verticais (paredes).....	23
Equação 2.8: carga térmica em superfícies transparentes.....	23
Equação 2.9: Calor sensível devido à condução pelas paredes, pisos, tetos e vidros.....	24
Equação 2.10: Calor sensível devido a motores elétricos.....	25

Sumário

1. INTRODUÇÃO	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 Ventilação industrial	16
2.2 Tipos de ventilação industrial	16
2.2.1 Ventilação natural.....	17
2.2.2 Ventilação geral	20
2.2.3 Ventilação local exaustora	21
2.3 Controle térmico de ambientes	23
2.3.1 Efeitos do Movimento do Ar no Conforto Térmico	28
2.3.2 Carga térmica ambiente	32
3. ESTUDO DE CASO	39
3.1 Carga térmica	40
3.2 Condições do local	43
4. SUGESTÃO DE MELHORIA	45
4.1 Possibilidade de melhoria	45
4.2 Proposta de melhoria	46
5. CONCLUSÃO	48
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

1. INTRODUÇÃO

A ventilação industrial tem sido a principal medida de controle efetiva para ambientes de trabalho prejudiciais ao ser humano. No campo da higiene do trabalho, a ventilação tem a finalidade de evitar a dispersão de contaminantes no ambiente industrial, bem como diluir concentrações de gases, vapores e promover conforto térmico ao trabalhador. Assim sendo, a ventilação é um método para se evitarem doenças profissionais oriundas da concentração de pó em suspensão no ar, gases tóxicos ou venenosos, vapores, temperaturas altas etc., entretanto, ao se aplicar a ventilação numa indústria, é preciso verificar antes, as condições das máquinas, equipamentos, bem como o processo existente, a fim de se obter a melhor eficiência na ventilação. A modernização das indústrias, isto é, mecanização e/ou automação, além de aumentar a produção melhora sensivelmente a higiene do trabalho com relação a poeiras, gases, etc.

Uma empresa do ramo de construção e manutenção de postos de combustíveis, localizada em São Luís/MA, atua na fabricação de tanques de armazenamento de combustíveis subterrâneos para postos de combustíveis. No galpão de preparo e dobra das chapas para confecção do tanque a ventilação é deficiente, pois não há nenhum sistema de exaustão e a condição de ventilação natural não é suficiente para o conforto térmico. Logo, verificou-se a insatisfação de vários trabalhadores em relação a temperatura do local e que os prejudicavam no desempenho de suas atividades, principalmente no horário das 10:00 às 14:00 horas.

A condição básica para que ocorra ventilação natural em ambientes é dispor de entradas e saídas projetadas para que ocorra movimento do ar e como consequência a sua renovação. Se o projeto não considerar essa situação a consequência direta é o desconforto térmico gerado pelo acúmulo de calor no ambiente.

O objetivo principal deste trabalho, em conformidade com a colocação inicial, é identificar técnicas de controle das correntes de ar a serem introduzidas

ou retiradas de um recinto (ar/hora) afim de mantê-lo termicamente confortável, com o mínimo de perdas de energia, comparando as variáveis com os padrões determinados pelas normas vigentes no país. Será também proposto um sistema de ventilação adequado para o galpão de serviço, analisando a situação real e o custo de implantação da solução.

São funções do engenheiro de segurança o reconhecimento preliminar dos ambientes de trabalho, avaliação dos riscos, indicação e projeto de métodos e equipamentos para o controle dos riscos, supervisão periódica da eficiência dos métodos e equipamentos do projeto, para assegurar um ambiente seguro e confortável aos trabalhadores.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Ventilação industrial

Ventilação pode ser conceituada como a movimentação intencional do ar, de forma planejada, com o objetivo de atingir um determinado objetivo. Essa movimentação pode ser feita por meios naturais ou mecânicos. Deve-se ter em mente que o ar sempre se movimenta da zona de maior pressão para a zona de menor pressão. Portanto, o projeto correto de diferenciais de pressão no sistema é de fundamental importância para o seu bom funcionamento (MACINTYRE, 1990).

O movimento do ar é necessário não só para remover o calor por evaporação, mas também para controle da transpiração. Ela excessiva debilita o organismo (perda de sais minerais). Mesmo em temperaturas moderadas é conveniente o movimento do ar para acelerar a perda de calor do corpo por convecção, reduzindo a transpiração.

A ventilação é um método disponível e bastante efetivo para controle da poluição do ar de ambientes de trabalho e mesmo de ambientes residenciais e de lazer. A sua adequada utilização promove a diluição ou retirada de substâncias nocivas ou incômodas presentes no ambiente de trabalho, de forma a não ultrapassar os limites de tolerância ou os níveis aceitáveis ou recomendados. A ventilação também pode ser utilizada para controlar a concentração de substâncias explosivas e/ou inflamáveis, agindo dessa forma no aspecto de segurança tanto do trabalhador como do patrimônio da empresa.

2.2 Tipos de ventilação industrial

A classificação dos tipos de sistemas de ventilação industrial depende da finalidade a que se destinam (MACINTYRE), e podem ser:

- a. Ventilação para a manutenção do conforto térmico;

- b. Ventilação para a manutenção da saúde e segurança do homem; e
- c. Ventilação para a conservação de materiais e equipamentos.

Com base nas finalidades citadas acima, podemos definir os sistemas de ventilação industrial como:

- I. Ventilação natural;
- II. Ventilação geral;
- III. Ventilação local exaustora.

2.2.1 Ventilação natural

A ventilação natural é o movimento de ar num ambiente de trabalho, provocado por ventos externos e que pode ser controlado por meio de aberturas, tais como portas, janelas etc (figura 2.1). Infiltração é o movimento do ar não controlado, de fora para dentro e de dentro para fora de um ambiente, através de frestas de janelas e portas, de paredes, pisos e forros, e por outras aberturas existentes.

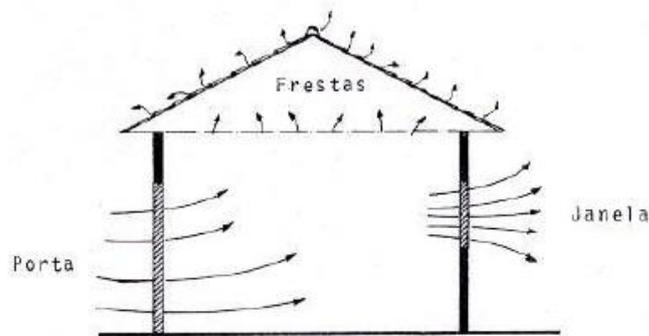


Figura 2.1: circulação de ar num ambiente (adaptado de Macintyre, 1990).

O fluxo de ar que entra ou sai de um edifício por ventilação natural ou infiltração depende da diferença de pressão entre as partes interna e externa e da resistência ao fluxo fornecido pelas aberturas. A diferença de pressões exercida sobre o edifício pelo ar pode ser causada pelo vento ou pela diferença de densidade de ar fora e dentro do edifício. O efeito de diferença de densidade, conhecido como "efeito de chaminé", é frequentemente o principal fator (figura 2.2).

Quando a temperatura no interior de um determinado ambiente é maior que a temperatura externa, produz-se uma pressão interna negativa e um fluxo de ar entra pelas partes inferiores, o que causa uma pressão interna positiva, e um fluxo de ar sai nas partes superiores do edifício.

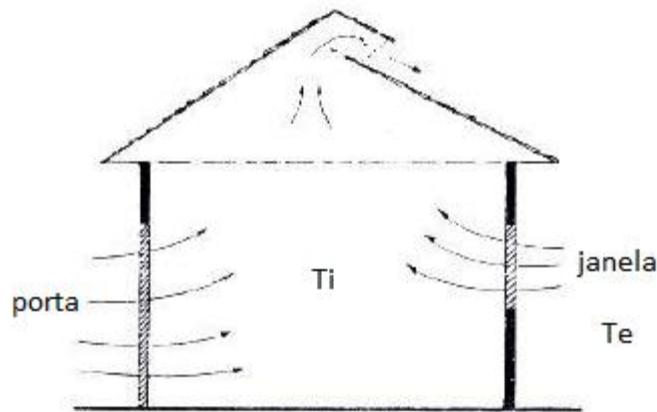


Figura 2.2: circulação de ar num ambiente quando $T_i > T_e$ (adaptado de Macintyre, 1990).

As janelas têm a vantagem de iluminar, bem como de ventilar, quando abertas. As partes móveis dessas aberturas permitem, até certo ponto, o controle da quantidade de ar que está sendo movimentada; defletores podem ser usados para controlar a distribuição das correntes.

As aberturas no telhado são geralmente protegidas por uma cobertura, para impedir a entrada de chuva e reversão do ar que sai. A quantidade de ar que passa através da abertura depende da diferença de temperatura interna e externa.

Em um projeto onde se busque uma boa ventilação natural deve-se considerar:

- Velocidade média do vento;
- Direção predominante do vento;
- Localização das aberturas de entrada voltadas para o vento;
- Localização das aberturas de saída na parede oposta ao vento; e
- Interferências locais como edifícios, colunas etc.

Segundo Macintyre as condições do vento não são sempre as mesmas, variando em intensidade e direção ao longo do ano e mesmo durante as 24 horas

diárias. Por isso, a ventilação natural pela ação do vento não oferece garantias de uniformidade, o que não invalida sua aplicação em muitos casos, desde que o ar interno não contenha poluentes (figura 2.3). 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_v de ar que entra em um recinto através de aberturas de área total A quando a velocidade do vento for igual a v (MACINTYRE, 1990). Para o cálculo de Q_v , usa-se a equação 2.1 a seguir:

$$Q_v = \varphi \cdot A \cdot v \quad \text{eq. 2.1}$$

Onde:

Q_v é dado em pés³/min;

Área é dada em pés²;

V é a velocidade do vento, dada em pés/min.

φ é um fator que depende das características das aberturas e pode ser adotado como 0,5 a 0,6, considerando ventos perpendiculares à parede onde estão as aberturas, e 0,25 a 0,35, quando os ventos forem diagonais em relação à empena.

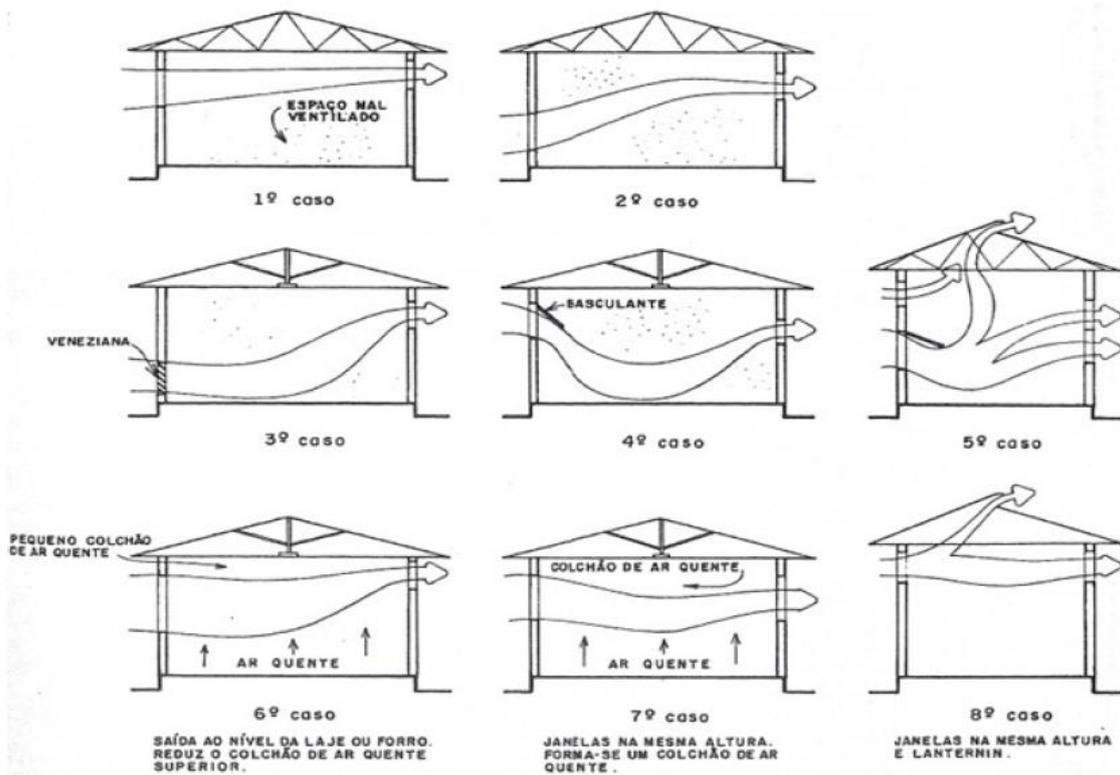


Figura 2.3: casos típicos de ventilação natural em galpões (MACINTYRE, 1990).

2.2.2 Ventilação geral

A ventilação geral é o método de insuflar ar em um ambiente ocupacional, de exaurir ar desse ambiente, ou ambos, a fim de promover uma redução na concentração de poluentes nocivos. Essa redução ocorre pelo fato de que, ao introduzirmos ar limpo ou não poluído em um ambiente contendo certa massa de determinado poluente, faremos com que essa massa seja dispersada ou diluída em um volume maior de ar, reduzindo, portanto, a concentração desses poluentes. A primeira observação a ser feita é a de que esse método de ventilação não impede a emissão dos poluentes para o ambiente de trabalho, mas simplesmente os dilui (MACINTYRE, 1990).

A alternativa para este tipo de ventilação é a ventilação local exaustora (que será o foco deste Guia de Estudo) que capta os poluentes junto à fonte de emissão antes que sejam emitidos ao ambiente ocupacional. Este método é sempre preferível à ventilação geral diluidora, especialmente quando o objetivo do sistema de ventilação é a proteção da saúde do trabalhador.

Os objetivos de um sistema de ventilação geral diluidora são:

- Proteção da saúde do trabalhador: reduzindo a concentração de poluentes nocivos abaixo de certo limite de tolerância;
- Segurança do trabalhador: reduzindo a concentração de poluentes explosivos ou inflamáveis abaixo dos limites de explosividade e inflamabilidade;
- Conforto e eficiência do trabalhador: pela manutenção da temperatura e umidade do ar do ambiente; e
- Proteção de materiais ou equipamentos: mantendo condições atmosféricas adequadas (impostas por motivos tecnológicos).

A aplicação, com sucesso, da ventilação geral diluidora depende das seguintes condições:

- Poluente gerado não deve estar presente em quantidade que excede à que pode ser diluída com um adequado volume de ar;
- A distância entre os trabalhadores e o ponto de geração do poluente deve ser suficiente para assegurar que os trabalhadores não estarão expostos a concentrações médias superiores ao VLT (Valor do Limite de Tolerância);
- A toxicidade do poluente deve ser baixa (deve ter alto VLT, isto é, $VLT > 500$ ppm); e
- O poluente deve ser gerado em quantidade razoavelmente uniforme.

A ventilação geral diluidora, além de não interferir com as operações e processos industriais, é mais vantajosa que a ventilação local exaustora, nos locais de trabalho sujeitos a modificações constantes e quando as fontes geradoras de poluentes se encontrarem distribuídas no local de trabalho; mas, pode não ser vantajosa, pelo elevado custo de operação, sobretudo quando há necessidade de aquecimento do ar, nos meses de inverno; contudo, seu custo de instalação é relativamente baixo quando comparado com o da ventilação local exaustora. É conveniente a instalação de sistemas de ventilação geral diluidora quando há interesse na movimentação de grandes volumes de ar na estação quente.

Diversas razões levam à não utilização frequente da ventilação geral diluidora para poeiras e fumos. A quantidade de material gerado é usualmente muito grande, e sua dissipação pelo ambiente é desaconselhável. Além disso, o material pode ser muito tóxico, requerendo, portanto, uma excessiva quantidade de ar de diluição.

2.2.3 Ventilação local exaustora

A ventilação local exaustora tem como objetivo principal captar os poluentes de uma fonte (gases, vapores ou poeiras tóxicas) antes que os mesmos se dispersem no ar do ambiente de trabalho, ou seja, antes que atinjam a zona de respiração do trabalhador. A ventilação de operações, processos e

equipamentos, dos quais emanam poluentes para o ambiente, é uma importante medida de controle de riscos (MACINTYRE, 1990).

De forma indireta, a ventilação local exaustora também influi no bem-estar, na eficiência e na segurança do trabalhador, por exemplo, retirando do ambiente uma parcela do calor liberado por fontes quentes que eventualmente existam. Também no que se refere ao controle da poluição do ar da comunidade, a ventilação local exaustora tem papel importante. A fim de que os poluentes emitidos por uma fonte possam ser tratados em um equipamento de controle de poluentes (filtros, lavadoras etc.), eles têm de ser captados e conduzidos a esses equipamentos, e isso, em grande número de casos, é realizado por esse sistema de ventilação.

A ventilação local exaustora tem como objetivo a proteção da saúde do trabalhador e sua segurança, além da proteção dos equipamentos, e consiste na exaustão do ar junto à fonte de produção de um poluente nocivo à saúde, antes de sua dispersão na atmosfera ambiente.

Entre os métodos acima referidos, o sistema mais adequado para um determinado local será geralmente determinado por suas dimensões, formas, espaço e pelas condições com que se quer controlar o pó, odor, temperatura etc.

Para se determinar a quantidade de ventilação e movimento do ar requerido, levam-se em consideração os seguintes fatores:

- Dimensão do local (galpão, edifício etc.);
- Número e tipo de ocupantes e suas atividades;
- Transmissão de calor dos equipamentos;
- Radiação solar;
- Umidade relativa;
- Temperatura do ar interno e externo;
- Se é pó, ou vapor, ou gás, ou calor etc.;
- Se é pó, qual o tipo, granulometria;
- Se é pó, qual a composição e concentração;
- Se é para conforto térmico, segurança do trabalho, proteção do equipamento.

Um esquema comum de instalação de um sistema de ventilação local exaustora pode ser visualizado na Figura 2.4.

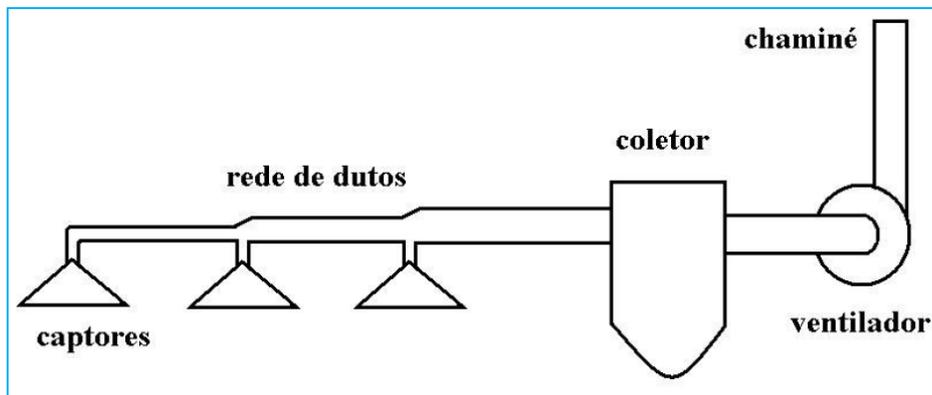


Figura 2.4: esquema de um sistema de ventilação local exaustora (adaptado de MACINTYRE, 1990).

2.3 Controle térmico de ambientes

O conforto térmico num determinado ambiente pode ser definido como a sensação de bem-estar experimentada por uma pessoa, como resultado da combinação satisfatória, nesse ambiente, da temperatura radiante média (t_{rm}), umidade relativa (UR), temperatura do ambiente (t_a) e velocidade relativa do ar (v_r) com a atividade lá desenvolvida e com a vestimenta usada pelas pessoas (RUAS, 1999).

O conforto térmico visa principalmente analisar e estabelecer as condições necessárias para a avaliação e concepção de um ambiente térmico adequado às atividades e ocupação humanas, bem como estabelecer métodos e princípios para uma detalhada análise térmica de um ambiente (LAMBERTS, 2014). Esta análise está fundamentada em três princípios:

- a) *A satisfação do homem ou seu bem-estar em se sentir termicamente confortável;*
- b) *A performance humana, muito embora os resultados de inúmeras investigações não sejam conclusivos a esse respeito, e a despeito dessa inconclusividade, os estudos mostram uma clara tendência de que o desconforto causado por calor ou frio reduz a performance humana. As*

atividades intelectuais, manuais e perceptivas, geralmente apresentam um melhor rendimento quando realizadas em conforto térmico.

- c) *A conservação de energia*, pois devido à crescente mecanização e industrialização da sociedade, as pessoas passam grande parte de suas vidas em ambientes condicionados artificialmente. Ao conhecer as condições e os parâmetros relativos ao conforto térmico dos ocupantes em seus ambientes, evitam-se desperdícios com calefação e refrigeração, muitas vezes desnecessários.

Vale lembrar que devido à variação biológica entre as pessoas, é impossível que todos os ocupantes do ambiente se sintam confortáveis termicamente, buscando-se sempre criar condições de conforto para um grupo, ou seja, condições nas quais a maior porcentagem das pessoas se encontre em conforto térmico.

Para que uma pessoa esteja em estado de conforto térmico no desempenho das atividades, admitem-se pequenas oscilações na temperatura interna do corpo (35 °C à 37 °C), sendo que em situações mais extremas, admitem-se variações um pouco maiores, para se evitarem os perigos do stress térmico.

O corpo humano é um sistema termodinâmico que produz calor e interage termicamente com o meio que o circunda. Assim, as trocas entre o corpo humano e o ambiente podem ser representadas pela equação 2.2:

$$C_{met} + C_{conv} + C_{rad} - C_{ev} = \pm Q \quad \text{eq. 2.2}$$

Onde:

C_{met} é a energia metabólica transformada em calor (W/m²)

C_{conv} é o calor trocado por convecção (W/m²)

C_{rad} é o calor trocado por radiação (W/m²)

C_{ev} é o calor perdido por evaporação do suor (W/m²)

Q é o calor total trocado pelo corpo humano (W/m²).

Deste modo podemos dizer que as atividades desempenhadas pelo ser humano geram calor ao corpo, o qual deve ser dissipado ao ambiente a fim de que não se acarrete um aumento exagerado da temperatura interna e que se mantenha o equilíbrio térmico do corpo. Essa dissipação se dá através de mecanismos de trocas térmicas, que podem ser observados na Figura 2.5 (LAMBERTS, 2014).

Através da pele:

- Perda sensível de calor, por convecção e radiação (C e R);
- Perda latente de calor, por evaporação do suor e por dissipação da umidade da pele (Esw .e Edif).

Através da respiração:

- Perda sensível de calor: convecção (Cres);
- Perda latente de calor: evaporação (Eres).

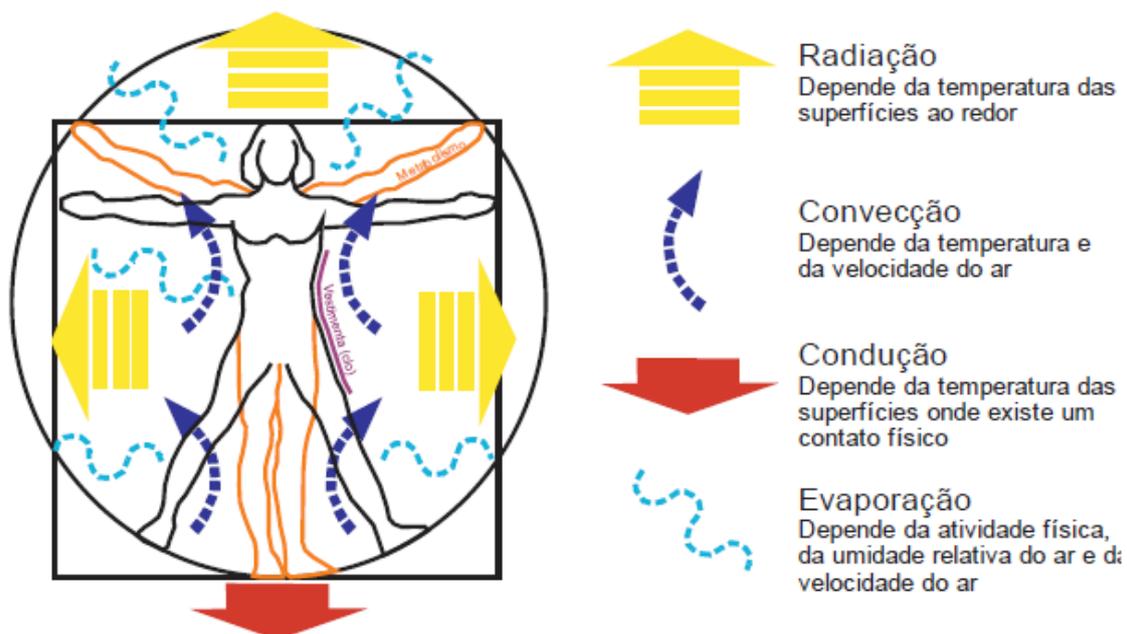


Figura 2.5: Representação esquemática da fisiologia humana e a trocas térmicas (LAMBERTS, 2014).

Quando o valor de Q na equação 2.2 for igual a zero, o corpo estará em equilíbrio térmico, e a primeira condição para a obtenção do conforto térmico terá sido satisfeita. Essa condição é necessária, mas não suficiente, uma vez que o

desconforto ocorre mesmo quando o equilíbrio térmico do organismo é mantido pelo sistema termorregulador (RUAS, 1999).

O quadro 2.1 mostra as taxas de metabolismo por atividade, segundo a NR 15:

Quadro 2.1: taxas de metabolismo por atividade.

TIPO DE ATIVIDADE	Kcal/h
SENTADO EM REPOUSO	100
TRABALHO LEVE	
Sentado, movimentos moderados com braços e tronco (ex.: datilografia).	125
Sentado, movimentos moderados com braços e pernas (ex.: dirigir).	150
De pé, trabalho leve, em máquina ou bancada, principalmente com os braços.	150
TRABALHO MODERADO	
Sentado, movimentos vigorosos com braços e pernas.	180
De pé, trabalho leve em máquina ou bancada, com alguma movimentação.	175
De pé, trabalho moderado em máquina ou bancada, com alguma movimentação.	220
Em movimento, trabalho moderado de levantar ou empurrar.	300
TRABALHO PESADO	
Trabalho intermitente de levantar, empurrar ou arrastar pesos (ex.: remoção com pá).	440
Trabalho fatigante	550

Fonte: NR 15 – anexo III, quadro nº 3.

O ganho de calor no corpo se dá através de produção de calor pelo metabolismo, e as perdas de calor se sucedem através da respiração e pela pele. As perdas de calor, de maneira sensível e latente pela pele e pela respiração, são expressas em termos de fatores ambientais. As expressões também levam em conta a resistência térmica e a permeabilidade das roupas. Variáveis tanto ambientais tais como a temperatura do ar, temperatura radiante

média, velocidade do ar e umidade do ar e variáveis pessoais, como a atividade e vestimentas, são incorporadas ao modelo.

A equação 2.3 relaciona o balanço de energia entre o corpo e o ambiente, que pode assim ser escrita:

$$(M - W) - C_{RES} - E_{SK} - E_{RES} = K_{CL} = C + R \quad \text{eq. 2.3}$$

onde:

M = Taxa metabólica de produção de calor (W/m²);

W = Trabalho mecânico desenvolvido pelo corpo (W/m²), sendo que para a maioria das atividades humanas esse trabalho é nulo;

Qsk = Taxa total de perda de calor pela pele (W/m²). Igual à perda de calor pela evaporação pela pele mais a condução de calor da pele até a superfície externa das roupas, podendo ser escrita como: Qsk = Esk + Kcl

Qres = Taxa total de perda de calor pela respiração (W/m²);

C+R = Perda de calor sensível pela pele (W/m²) - Convecção e radiação. Seu valor é igual à perda de calor por condução até a superfície externa das roupas;

Esk = Perda de calor latente pela pele, através da evaporação (W/m²);

Cres = Perda de calor sensível pela respiração, por convecção (W/m²);

Eres = Perda de calor latente pela respiração, por evaporação (W/m²).

As pessoas apresentam zonas de respostas fisiológicas e comportamentais de acordo com as condições a que estiverem submetidas e, de acordo com a atividade que estiverem desempenhando. Como na maioria dos estudos de conforto térmico, as atividades desempenhadas são do tipo sedentárias, e o fator humano de influência sobre a determinação da zona de conforto é a vestimenta utilizada. Pode-se então apresentar duas zonas de conforto, para pessoas vestidas e pessoas nuas, em função da temperatura do ar (LAMBERTS, 2014):

- Para pessoas nuas: Zona de conforto para que se mantenha o equilíbrio térmico situa-se entre 29°C e 31°C;

- Para pessoas vestidas com vestimenta normal de trabalho: Zona de conforto para que se mantenha o equilíbrio térmico situa-se entre 23° e 27°C.

Cada indivíduo possui uma temperatura corporal neutra, descrita como aquela em que o mesmo não prefira sentir nem mais frio e nem mais calor no ambiente (neutralidade térmica) e nem necessite utilizar seu mecanismo de termorregulação. Ao compararmos a temperatura interna corporal com essa temperatura neutra, podemos apresentar as seguintes zonas de respostas fisiológicas e comportamentais:

- $t_{\text{corpo}} < t_{\text{neutra}}$ Ocorre neste caso o mecanismo de vaso constrição;
- $t_{\text{corpo}} < 35^{\circ}\text{C}$ Ocorre perda de eficiência (habilidade);
- $t_{\text{corpo}} < 31^{\circ}\text{C}$ Esta situação de temperatura corporal é letal.
- $t_{\text{corpo}} > t_{\text{neutra}}$ Ocorre neste caso o mecanismo de vaso dilatação;
- $t_{\text{corpo}} > 37^{\circ}\text{C}$ Inicia-se o fenômeno do suor;
- $t_{\text{corpo}} > 39^{\circ}\text{C}$ Inicia-se a perda de eficiência;
- $t_{\text{corpo}} > 43^{\circ}\text{C}$ Esta situação de temperatura corporal é letal.

2.3.1 Efeitos do Movimento do Ar no Conforto Térmico

As condições de conforto térmico são função de uma série de variáveis humanas e ambientais, tais como: taxa de metabolismo, isolamento térmico da vestimenta, temperatura radiante média, umidade relativa, temperatura e velocidade do ar. A combinação destas variáveis determinará a sensação de conforto ou desconforto térmico.

Diversas pesquisas têm demonstrado que as flutuações na temperatura, que ocorrem durante o dia em construções com ventilação natural, podem produzir sensações de conforto com temperaturas do ar significativamente mais altas que aquelas preferidas sob condições constantes em ambientes com ar condicionado. Isso se deve a redução da temperatura percebida pelas pessoas devido à evaporação do suor da pele e às trocas convectivas entre a corrente de ar e o corpo humano. Desta forma, a zona de conforto pode ser ampliada.

A velocidade máxima do ar considerada como aceitável para um ambiente de escritórios pode variar entre 0,5 e 2,5 m/s de acordo com diferentes autores. O limite máximo é baseado em problemas práticos, tais como vôo de papéis sobre a mesa e desarranjo de penteados, ao invés de exigências fisiológicas de conforto.

Segundo Bittencourt e Cândido, “a variabilidade e duração por curtos períodos de tempo, de condições desconfortáveis, parece não constituir um sério distúrbio para a maioria das pessoas, pois os seres humanos têm um sistema fisiológico flexível que preserva por um certo período de tempo uma resposta constante a despeito da mudança de ambiente” (BITTENCOURT e CÂNDIDO, 2005).

Pode-se concluir então, que são necessárias alterações nos índices de conforto mais frequentemente utilizados, para avaliação de edifícios de escritórios, para considerar mais adequadamente, os efeitos da velocidade do ar no conforto térmico dos usuários.

A referência mais tradicional para os limites da velocidade do ar advém do conceito de desconforto por correntes de ar. Tal conceito pode ser definido como um resfriamento indesejado no corpo, causado pela movimentação do ar e sendo considerado um problema comum em ambientes com baixa atividade metabólica. Para avaliar o risco de desconforto causado pelas correntes de ar, o modelo mais comum utilizado é o de Fanger, que foi desenvolvido com base em experimentos laboratoriais. O modelo combina três parâmetros físicos: temperatura do ar, velocidade média do ar e intensidade de turbulência do ar (equação 2.4), e é utilizado para prever a porcentagem de indivíduos insatisfeitos com o movimento do ar (LAMBERTS, 2014).

$$DR = (34 - t_a) \cdot (v_m - 0,05)^{0,62} \cdot (0,37 \cdot v_m \cdot t_u + 3,14) \quad (\%) \quad \text{eq. 2.4}$$

onde:

DR: percentual de pessoas desconfortáveis pela movimentação do ar;

v_m : velocidade média do ar (m/s);

t_a : temperatura do ar (°C);

t_u : intensidade de turbulência do ar (%).

Tais valores aceitáveis de velocidade do ar têm sido constantemente objeto de estudo de vários pesquisadores. Os valores considerados como aceitáveis para um ambiente de atividades sedentárias podem variar entre 0,5 e 2,5 m/s, de acordo com diferentes autores. O limite máximo é baseado em problemas práticos, tais como voo de papéis sobre a mesa e desarranjo de penteados, ao invés de exigências fisiológicas de conforto. Alguns pesquisadores notaram que a maioria dos estudos realizados a respeito da velocidade do ar estava focada nos efeitos negativos causados pelo desconforto proveniente da movimentação indesejada do ar. No entanto, inúmeras constatações sugerem que a movimentação do ar é desejada quando a temperatura é considerada alta.

Assim, para obterem-se ambientes climatizados de maneira sustentável, é necessário incrementar o valor da velocidade do ar ao invés de reduzir a temperatura e umidade relativa do ar, alcançando equivalentes níveis de conforto. O incremento da velocidade do ar pode ser uma solução bastante eficiente, desde que antes sejam analisadas todas as condicionantes de influência, de maneira que seus efeitos sejam exponenciados. Dentre estas condicionantes estão: o clima, as necessidades, a finalidade dos edifícios, dentre outras.

Os fatores que influenciam a sensação de conforto térmico são a temperatura do ar, a umidade relativa do ar, a ventilação do ambiente e a vestimenta usada pelas pessoas (BITTENCOURT e CÂNDIDO, 2005), descritos abaixo.

a) Temperatura do Ar (t_a)

Quando a temperatura do ar é inferior à da pele, a remoção de calor por convecção será tanto maior quanto menor for a temperatura do ar. Se o ar estiver a uma temperatura superior à da pele, ele cederá calor para o corpo por convecção.

Quanto à evaporação, a influência da temperatura do ar dependerá da umidade relativa e da velocidade do ar.

b) Umidade Relativa do Ar (UR)

A umidade relativa do ar, numa determinada temperatura, é a razão entre o número de gramas de vapor d'água existente em 1m³ de ar e a quantidade máxima de gramas de vapor d'água que 1m³ de ar pode conter, quando está saturado naquela temperatura. A umidade relativa varia com a temperatura do ar. Com o aumento da temperatura, a quantidade máxima de vapor d'água que 1m³ de ar pode conter também aumenta. Com a diminuição da temperatura, a quantidade máxima de vapor d'água que 1 m³ de ar pode conter também diminui.

Isso significa que quando se deseja umidade relativa menor num ambiente, deve-se reduzir a quantidade de vapor d'água no ar ou aumentar a temperatura do ar ambiente. Por outro lado, quando se deseja umidade relativa maior, deve-se aumentar a quantidade de vapor d'água no ar ou reduzir a temperatura do ar desse ambiente.

A umidade relativa do ar tem grande influência na remoção de calor por evaporação, na medida em que a baixa umidade relativa permite ao ar relativamente seco absorver a umidade da pele rapidamente, e, com isso, promover também de forma rápida a remoção de calor do corpo. A alta umidade relativa produz efeito inverso.

c) Ventilação do Ambiente

É necessário conhecer a temperatura e a umidade relativa do ar, para se analisar a capacidade de contribuição da ventilação na remoção de calor do corpo humano. Para a condição de ar não saturado e com temperatura inferior à da pele, pode-se afirmar que:

- Quando a ventilação aumenta: o processo de evaporação aumenta, porque a umidade do corpo é retirada mais rapidamente. O processo de convecção aumenta, porque a velocidade de troca do ar que rodeia o corpo é maior.
- Quando a ventilação diminui: os processos de convecção e evaporação também diminuem.

d) Vestimenta Utilizada

A roupa é um elemento que dificulta a remoção de calor do corpo.

- Diminui a troca térmica por convecção porque é um obstáculo ao movimento do ar junto à pele.
- Diminui o processo de evaporação do suor num grau que varia conforme a permeabilidade da roupa ao vapor d'água. Quanto menor a permeabilidade da roupa, menor será a remoção de calor por evaporação.
- A interferência da vestimenta na troca térmica por radiação depende principalmente da emissividade e absorvância de radiação da roupa e do comprimento de onda da radiação.

Para as radiações de ondas longas, a emissividade é igual a absorvância podendo ser considerada 1 para a pele e 0,95 para as roupas comuns, independente da cor. Já para as de ondas curtas, a absorvância depende da pigmentação da pele e da cor da roupa, sendo maior para as de tonalidades escuras.

Dessa forma, em ambientes nos quais predominam as radiações de ondas longas, a vestimenta terá pouca influência na troca térmica por radiação. Por outro lado, nos ambientes em que existam fontes importantes de radiação de ondas curtas, as vestimentas de cor clara absorverão menor quantidade de radiação do que as de cor escura.

Na verdade, a roupa promove um determinado isolamento térmico, porque acrescenta resistência à transferência de calor entre o corpo e o ambiente.

A magnitude dessa resistência térmica depende principalmente do tecido e do modelo de fabricação da roupa; uma roupa longa, justa e de lã oferece maior resistência que uma curta, folgada e de algodão.

2.3.2 Carga térmica ambiente

Carga térmica é a quantidade de calor sensível e latente que deve ser retirada ou colocadas no recinto a fim de proporcionar as condições de conforto desejadas. Duas condições são básicas para a estimativa da carga térmica, isto

é, as condições internas e as condições externas. A norma ABNT NBR6401 apresenta indicações para estas condições para várias localizações e tipos de ambientes (MACINTYRE, 1990).

Para o cálculo da carga térmica devemos considerar os seguintes aspectos físicos para o ambiente:

- a) Orientação da construção. Localização do recinto a ser condicionado com relação a:
 - Posição geográfica - Efeitos do sol e vento;
 - Efeitos de sombreamento de estruturas vizinhas;
 - Superfícies refletoras - água, areia, estacionamentos, entre outras.
- b) Uso do recinto. Escritório, residencial, hospital, comercial, industrial, etc;
- c) Dimensões físicas do recinto. Comprimento, largura e altura.
- d) Materiais de construção. Materiais e espessuras de paredes, teto, assoalho, divisórias, entre outros.
- e) Condições exteriores. Cor exterior de paredes e telhados, forros ventilados ou não, espaços condicionados ou não – temperaturas dos ambientes;
- f) Janelas. Tamanho e localização, caixilho em madeira ou metal, tipo de vidro, tipo de equipamento para sombreamento (toldo, cortina, etc.)
- g) Portas. Localização, tipo, tamanho e frequência de uso;
- h) Elevadores e escadas. Localização e temperatura se forem ligados a ambientes não condicionados;
- i) Pessoas. Número, horas de permanência, natureza da atividade;
- j) Iluminação. Tipo (fluorescente ou incandescente);
- k) Motores. Localização e potência nominal;
- l) Equipamentos eletrônicos.

Procedimentos para o cálculo da carga térmica:

1. Insolação sobre os vidros, paredes externas e coberturas

A insolação varia conforme os seguintes fatores:

- Tipo da superfície;
- Constituição do material da superfície;

- Área útil;
- Orientação solar;
- Sombreamento existente;
- Estação do ano.

A energia radiante absorvida se transforma em energia térmica ou calor; a refletida não sofre modificação alguma. Desta forma, a radiação sol/ar é incluída no cálculo do fluxo de calor através de uma temperatura equivalente ou, como é comumente chamada, temperatura solar. Verificamos através da Equação 2.5, dada pelas regras da transferência de calor para o cálculo de cargas térmicas (LAMBERTS, 2014).

$$\Phi = U \cdot A \cdot (T_{sol/ar} - \theta_i) \quad \text{eq. 2.5}$$

Onde:

U é o coeficiente global de transferência de calor

A é a área de exposição

$T_{sol/ar}$ é a temperatura sol/ar

θ_i temperatura interna.

A ABNT 02:135.07-002 (1998) traz a absorvidade dos materiais em função da cor, descrita no quadro 2.2 abaixo:

Quadro 2.2: Absortividade das cores e materiais

Tipo de Superfície	α
Chapa de alumínio (nova e brilhante)	0,005
Chapa de alumínio (oxidada)	0,15
Chapa de aço galvanizada (nova e brilhante)	0,25
Caiação nova	0,12/0,15
Concreto aparente	0,65/0,80
Telha de barro	0,75/0,80
Tijolo aparente	0,65/0,80
Reboco claro	0,30/0,50
Revestimento asfáltico	0,85/0,98

Vidro comum de janela	Transparente
Pintura: - branca	0,20
- amarela	0,30
- verde claro	0,40
- "aluminio"	0,40
- verde escuro	0,70
- vermelha	0,74
- preta	0,97

Fonte: Projeto de Norma da ABNT 02:135.07-002 (1998).

Quando consideramos a carga térmica em planos horizontais (coberturas), a equação 2.4 resulta na equação 2.6:

$$\Phi = U \cdot A \cdot (\theta_e + \alpha \cdot RS \cdot R_{SE} - \theta_i) \quad \text{eq. 2.6}$$

Onde:

RS é a carga térmica devido a radiação solar

R_{SE} é a resistência da superfície externa à direção do fluxo de calor, dispostas no quadro 2.3.

Quadro 2.3: valores médios da resistência superficial interna e externa.

R _{SI} (m ² .k)W			R _{SE} (m ² .k)W		
Direção do fluxo de calor			Direção do fluxo de calor		
					
0,13	0,1	0,17	0,04	0,04	0,04

Fonte: Projeto 02:135.07-001/2 da Associação Brasileira de Normas técnicas

Quando consideramos a carga térmica em planos verticais (paredes), a equação 2.4 resulta na equação 2.7:

$$\Phi = U \cdot A \cdot (\theta_e + \alpha \cdot RS \cdot R_{SE} - \theta_i) \quad \text{eq. 2.7}$$

Para as superfícies transparentes, inclui-se um fator denominado fator solar na equação. Este fator representa a razão entre a quantidade de radiação solar que atravessa e a que incide uma superfície. Deste modo, a Equação do fluxo de calor é dado pela equação 2.8.

$$\Phi = U \cdot A \cdot (\theta_e + F_s \cdot RS - \theta_i) \quad \text{eq. 2.8}$$

O Quadro 2.4 apresenta o fator solar para alguns tipos de superfícies transparentes.

Quadro 2.4: Fator solar para alguns tipos de superfícies transparentes

Superfícies transparentes		F_s
Vidros	Transparente (simples) 3 mm	0,87
	Transparente (simples) 6 mm	0,83
	Transparente (duplo) 3 mm	0,75
	Cinza (fumê) 3 mm	0,72
	Cinza (fumê) 6 mm	0,6
	Verde 3 mm	0,72
	Verde 6 mm	0,6
	Refletivo 3 mm	0,26-0,37
Películas	Reflexiva	0,25-0,50
	Absorvente	0,40-0,50
Acrílico	Claro	0,85
	Cinza ou bronze	0,64
	Reflexivo	0,18
Policarbonato	Claro	0,85
	Cinza ou Bronze	0,64
Domos	Claro	0,7
	Translúcido	0,4
Tijolo de vidro		0,56

Fonte: Lamberts, 2014.

2. Calor sensível devido à condução pelas paredes, pisos, tetos e vidros

Podemos determinar esta carga térmica através da equação 2.9:

$$C_p = U \cdot A \cdot (\theta_e - \theta_i) \quad \text{eq. 2.9}$$

Onde:

A é a área das paredes, piso ou teto (m²)

$\theta_e - \theta_i$ é a diferença de temperatura externa e interna.

3. Calor sensível correspondente à carga de energia elétrica dissipada no recinto nos aparelhos de iluminação e acessórios.

A carga térmica gerada por aparelhos de iluminação é uma função da potência dissipada pelas lâmpadas e pelos reatores (quando se tratar de iluminação fluorescente). Pode-se calcular a potência dissipada (w/m^2) por unidade de área de piso do recinto, em função do índice de iluminação que deverá ser previsto para o mesmo e a natureza do trabalho a ser executado, cujo grau de precisão influencia o nível de iluminação exigido (MACINTYRE, 1990).

Podemos adotar para o cálculo de energia dissipada pelas lâmpadas os valores do quadro 2.5.

Quadro 2.5: Aquecimento devido a lâmpadas acesas

Tipo	Calor emitido (Kcal/h)
Incandescente	Potência total em Watts x 0,875
Fluorescente	Potência total em Watts x 0,875 x 1,26

Fonte: Macintyre, 1990.

4. Calor sensível devido a motores elétricos

Para motores que porventura permaneçam no recinto condicionado (elevadores, bombas, máquinas elétricas, perfuradoras etc.) (MENDES, 2008), temos a equação 2.10:

$$q = \left(\frac{P}{\eta} - P \right) \cdot 733 \quad \text{eq. 2.10}$$

Onde:

P é a potência em CV

η é o rendimento do motor.

O quadro 2.6, mostra o ganho em calor dos motores elétrico em um recinto.

Quadro 2.6: ganho de calor em Watts por HP para motores elétricos

Potência HP	Rendimento Aproximado %	Ganho de calor W/HP
Até 1/4	60	1231
½ - 1	70	1055
1 ½ - 5	80	938
7,5 - 20	85	879
Maior que 20	88	850

Fonte: simplificado de MACINTYRE, 1990.

3. ESTUDO DE CASO

O galpão de preparo e dobra das chapas da empresa do ramo de fabricação de tanques de combustíveis subterrâneos foi construído em 1998, com uma área coberta de 160 m² (20 m x 8 m), figura 3.1, com pé direito de 7 metros, com abertura oeste de 6 m x 6 m (36 m²) para recebimento das chapas.

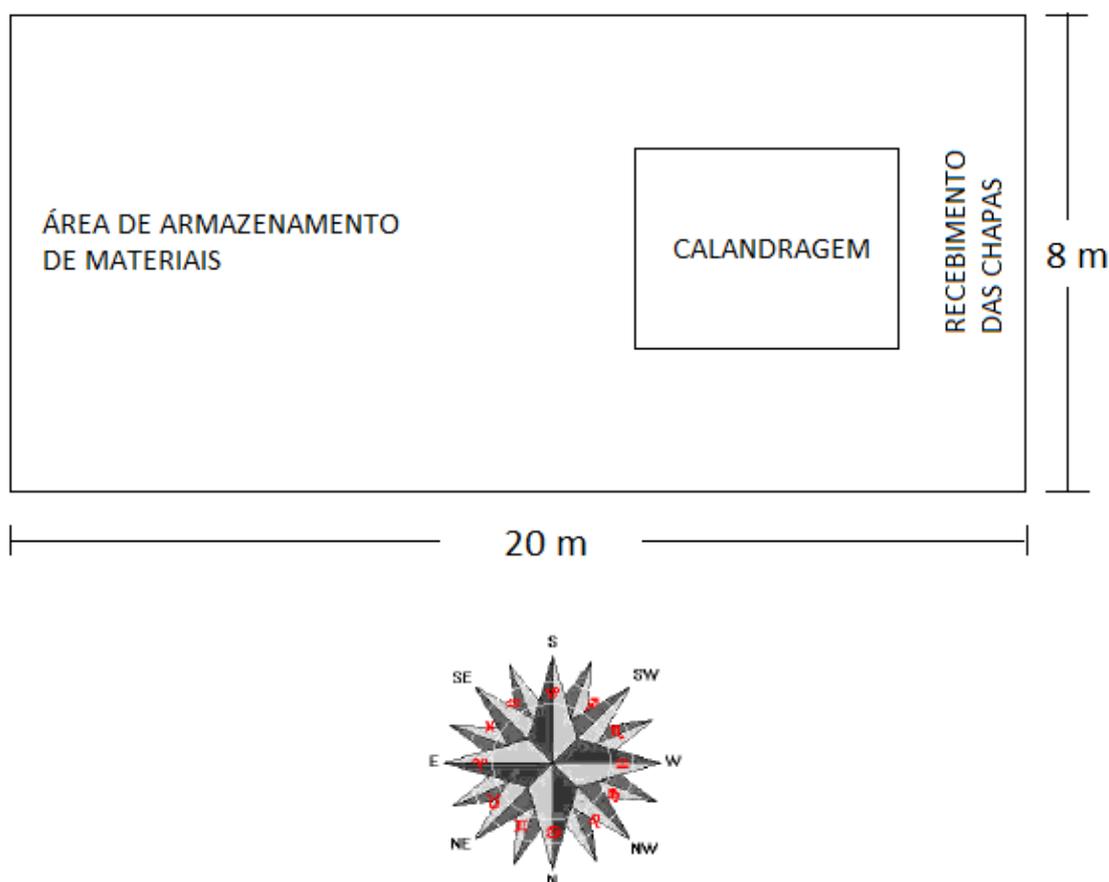


Figura 3.1: esquema simplificado do layout do galpão (próprio autor).

As paredes laterais foram construídas de blocos de concretos pré-moldados. O telhado foi construído com telhas aluzinc, em formato meia água, com intervalos de telhas transparentes de 1,2 metros de largura posicionadas a cada 5 metros em 5 metros para aproveitamento da iluminação natural. É localizado próximo a um prédio de soldagem que fica atrás da área de armazenamento de materiais do galpão de preparo e dobra das chapas.

A dobra das chapas é feita por meio de uma máquina ferramenta chamada de calandra e o auxílio de uma talha elétrica de uma tonelada para manuseio da chapa, durante o processo de calandragem.

3.1 Carga térmica

A carga térmica são todos os fatores que geram calor dentro de um ambiente e a soma de todas as formas de calor presentes num ambiente. Para este cálculo considera-se as contribuições devido a ganhos e perdas por trocas térmicas nas diversas superfícies, tais como a cobertura do prédio, paredes externas e internas, áreas dos vidros das janelas, o piso e as portas, além do calor trocado pela variação do ar interno, trocas devido a pessoas, lâmpadas e equipamentos.

O cálculo da carga térmica para o galpão em questão terá as seguintes considerações:

- a) A maior carga térmica se dará no horário de maior incidência de radiação sobre o galpão;
 - b) As lâmpadas não são acesas em dias com incidência de sol, pois a iluminação natural se torna suficiente em virtude das telhas transparentes;
 - c) Considera-se quatro pessoas no trabalho de preparo e dobra das chapas;
 - d) São considerados um motor elétrico de uma calandra em atividade e um motor elétrico para a talha elétrica.
 - e) Na inexistência de janelas no ambiente, desconsidera-se a carga térmica por infiltrações de ar;
1. Carga térmica devido a insolação.

Para o cálculo da carga térmica devido à insolação nas superfícies laterais e superiores, divide-se as áreas do galpão sujeitas à radiação conforme material e orientação. Esses dados são demonstrados no quadro 3.1.

Quadro 3.1: superfície do galpão sujeitas à radiação.

Superfície	Orientação	Área sujeita a radiação m²
Telha Aluzinc	Forro	145,6
Telha translúcida	Forro	14,4
Parede	Norte	140,0
Parede	Sul	140,0
Parede	Leste	56,0
Parede	Oeste	20,0

Fonte: próprio autor.

Utilizando as equações 2.6 e 2.7 e considerando valores da radiação média, temos o demonstrado no quadro 3.2. Serão considerados também para o cálculo os seguintes dados:

- Temperatura externa de 35°C e temperatura interna de 28°C;
- Bloco pré-moldado considerado como reboco claro;
- Coeficiente global de transmissão de calor e absorvidade das telhas aluzinc mostrados no Quadro 8;
- Coeficiente global de transmissão de calor das telhas translúcidas considerado 4,7 W/m².k e absortância visualizada também no Quadro 8.

Quadro 3.2: valores de radiação média para planos verticais e horizontais.

Orientação	Radiação solar média (W/m²)
Sul	105
Leste	270
Norte	88
Oeste	740
Horizontal	700

Fonte: próprio autor.

Utilizando os valores da radiação média, calcula-se as cargas de insolação para cada uma das superfícies do galpão, representadas no quadro 3.5.

Quadro 3.3: propriedades térmicas de telhas aluzinc.

Superfície	Local	Absortância	Emissividade	U (W/m ² .k)	Ct (KJ/m ² .k)	ϕ (Horas)
Telha aluzinc na cor natural	Cobertura	0,25	0,25	476	-	-
Alvenaria à vista	Muro	0,65/0,80	0,85/0,95	2,6	63,3	2,83

Fonte: Van Hass, 2005.

Quadro 3.4: valores do fator solar para telhas translúcidas.

Superfície	Local	FCS
Telha translúcida de fibra de vidro	Cobertura	0,4

Fonte: adaptado de Lamberts, 2014.

Quadro 3.5: cargas térmicas de insolação em cada uma das superfícies do pavilhão.

Superfície/orientação	Carga térmica (W)
Telha Aluzinc/Forro	9400
Telha Translúcida/Forro	1876
Parede/norte	2932
Parede/sul	3007
Parede/leste	1491
Parede/oeste	826
Total	19532

Fonte: próprio autor.

2. Carga térmica devido à condução

Determina-se a carga térmica por condução através da equação 2.9, utilizando as mesmas considerações e dados para temperatura externa, temperatura interna, áreas das superfícies e coeficiente de transmissão global de calor. O quadro 3.6 mostra esses valores:

Quadro 3.6: Cargas térmicas resultantes da condução de calor em cada uma das superfícies do galpão.

Superfície/orientação	Carga térmica (W)
Telha Aluzinc/Forro	4851
Telha Translucida/Forro	970
Parede/norte	2548
Parede/sul	2548
Parede/leste	1019
Parede/oeste	364
Total	12300

Fonte: próprio autor.

3. Carga térmica devido às pessoas

Para este cálculo, utiliza-se o quadro 2.1. Considerando-se um trabalho pesado, temos 440 Kcal/h. como são quatro pessoas neste trabalho, a carga térmica é de 2500 w.

4. Carga térmica devido aos motores elétricos

No galpão tem-se dois motores elétricos:

- Um motor da máquina ferramenta calandra para dobra de chapas: Motor Elétrico 5 CV 1750 Rpm 220/380/440 Weg;
- Um motor da talha elétrica para movimentação das chapas: Motor Elétrico 2 CV TES-A01-09E-12 220 / 380.

Considerando que os motores trabalham todo o turno de trabalho, de acordo com as considerações do quadro 2.6, temos uma carga térmica de 6670 W.

3.2 Condições do local

Como mencionado inicialmente, a ventilação do galpão é ineficiente, pois não há condições para a renovação do ar, gerando acúmulo de pequenas

partículas de poeira e aquecimento do ambiente de trabalho, deixando o trabalho desconfortável termicamente para os trabalhadores.

O quadro 3.7, mostra o número mínimo de trocas de ar para ambientes segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Quadro 3.7: Trocas de ar/hora para ambientes

Ambientes	Nº de trocas	Ambientes	Nº de trocas
Auditório	6	Cabine de pintura	60
Padaria	20 a 30	Sala de diversões	10
Boliche	12	Funilaria	12
Sala de clube	12	Estaleiros	6
Igreja	6	Loja	10
Restaurante	12	Sanitário	12 a 20
Fábrica	10	Túnel	6
Fundições	20	Assembleia	15
Garagens	12	Sala de caldeira	20
Cozinha de restaurante	20 a 30	Fábrica de papel	30
Lavanderia	20	Armazém	5 a 10
Oficina	11	Depósito	3 a 10
Escritório	10		

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT NBR 6401

O volume total de ar do galpão em questão é de 1120 m³ e considerando os dados do quadro 3.7, temos 11 trocas de ar/hora. Então seria necessária uma vazão de 12320 m³/hora.

A única entrada de ar no ambiente em estudo trata-se da área oeste com dimensões de 6 m x 6 m, totalizando uma área de 36 m². Pela equação 2.1, pode-se determinar a taxa de ventilação natural, que resulta em 56613 m³/h.

4. SUGESTÃO DE MELHORIA

4.1 Possibilidade de melhoria

Para análise de um projeto de melhoria do ambiente de trabalho de uma empresa, temos diversas possibilidades com o objetivo de reduzir a temperatura e melhorar a condição do ambiente. É importante lembrar que se a temperatura do ambiente estiver acima do limite de tolerância estabelecido pelo Ministério do Trabalho, o ambiente tornara-se insalubre, gerando um maior custo para a empresa. Deve-se ressaltar que o dimensionamento do sistema de ventilação é caracterizado pelo número de renovações que se deseja obter, sendo que este número de renovações é variável conforme a atividade realizada no interior da edificação. O número de renovações é adequado a cada situação utilizando-se como parâmetro a norma nacional ABNT.

Dentre as opções de uma solução para melhorar a temperatura ambiente temos: sistema de ventilação natural, sistema de ventilação e exaustão, sistema de insuflamento, sistemas eólicos, revestimento de teto e paredes, etc.

Um *sistema de ventiladores* dá circulação ao ar ambiente, desloca grandes quantidades de ar, volume e distância, além de melhorar a sensação térmica local. Apresenta diversos modelos no mercado de acordo com a especificação técnica da necessidade da empresa. Apresenta como vantagens um baixo custo, baixa manutenção, consumo de energia baixo, tornando-se uma solução econômica e eficiente. Porém como desvantagens aumenta o ruído interno e não diminui a temperatura do ambiente.

A *construção de aberturas para entrada e saída de ar* é um sistema que considera o princípio da ventilação natural, realizando modificações na quantidade, tipo e posições das aberturas para entradas e saídas do ar para atingir os valores estabelecidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas. As vantagens desse sistema são baixo custo, pois aproveita a estrutura existente e praticamente não gera manutenção. Entretanto, não diminui a temperatura do ambiente, exige uma análise estrutural do ambiente e depende da ação dos ventos sobre a estrutura.

Outra hipótese é o *revestimento do telhado*, que tem como objetivo evitar o aquecimento do ar interno, impedindo a transferência de calor pela ação dos raios solares para o ambiente. O revestimento do telhado pode ser de cerâmica, resina, polipropileno, entre outros. Deve-se também considerar a cor do telhado, verificando o nível de absorção e a relação com o coeficiente global de transferência de calor. Este sistema não produz ruído, reduz a ação da corrosão do telhado e não gera custo alto de implantação. Porém não renova o ar interno e o polipropileno retém poeira e gera um custo um pouco mais alto por ser um material isolante.

4.2 Proposta de melhoria

Avaliando o caso do galpão da empresa em questão, tem-se que considerar o custo gerado para implementar um sistema de ventilação, visando viabilizar o projeto de melhoria do conforto térmico do trabalho.

Dentre os sistemas de ventilação apresentados como possíveis soluções do problema, deve-se considerar algumas limitações que inviabilizam sua implantação para a melhoria em questão. Logo:

- Um sistema mecânico gera um custo relativamente alto na instalação, operação e manutenção;
- O revestimento externo das paredes e teto, a fim de alterar a cor para redução do coeficiente global de transferência de calor, não auxilia na renovação do ar, somente no que se refere à diminuição da carga térmica devido à insolação.

Analisando as limitações percebidas e levando-se em consideração a redução da sensação térmica do ambiente de trabalho, visto que o ambiente atende ao número de trocas de ar/hora da ABNT, segue-se com a proposta de construção de aberturas além da existente para dar maior vazão e renovação ao ar do ambiente.

A proposta de solução mais viável é a abertura de quatro janelas na lateral norte com dimensões 3,5 m x 3,5 m (12,25 m²), onde propiciaria um melhor fluxo

de ar, além de uma melhor recirculação e renovação do ar. Para isso é preciso analisar o projeto estrutural do galpão e verificar se não haverá prejuízo a fundação. Em uma análise realizada no projeto e também uma inspeção na estrutura física do galpão, verifica-se que o mesmo pode sofrer a devida alteração sem prejuízos estruturais.

Por ser um projeto de melhoria não será gerado custo adicional fora do já orçado pela empresa, visto que será aproveitado a matéria prima já existente, pois a empresa atua também na construção de postos de combustíveis, logo aproveitara-se este material que é adquirido sempre com uma margem de segurança. Em relação a mão de obra também será aproveitado a mão de obra dos funcionários da própria empresa não necessitando de serviço terceirizado.

5. CONCLUSÃO

Em linhas gerais, pode-se concluir que os objetivos propostos inicialmente foram alcançados ao longo do desenvolvimento do trabalho, além de ter propiciado um melhor entendimento sobre o estudo térmico dos ambientes de trabalho industrial, sobretudo o galpão da empresa atuante na fabricação de tanque subterrâneos para armazenamento de combustíveis.

O estudo em questão possibilitou a constatação da importância da ventilação industrial em suas possibilidades de variação e instalação e da necessidade das trocas de ar nos ambientes de trabalho, em especial nos ambientes industriais, onde ambientes desconfortáveis termicamente interferem diretamente no desempenho das atividades humanas e na realização de suas tarefas, e em consequência, afetando a capacidade produtiva da empresa como um todo, chegando até a gerar atrasos de entrega.

Uma análise dos resultados obtidos, permitiu a avaliação das condições do galpão, comprovando a ineficiência do projeto construtivo nas condições do conforto térmico. Os Fatores mais influentes para essa condição foram a construção do teto em material metálico e o fechamento nas lateais do galpão, que resultou em uma carga térmica considerável. Pode-se afirmar que o projeto de construção do galpão não levou em consideração a condição de ventilação natural para estabelecer um conforto térmico adequado.

Avaliando as condições atuais, foi proposto diversos sistema de ventilação e suas limitações, onde concluir que o sistema de construção de aberturas laterais é um sistema que atenderá ao objetivo proposto de um maior conforto térmico no ambiente de trabalho. Logo foi proposto quatro aberturas na lateral com 12,25 metros quadrado de área cada.

Esta proposta permitirá um maior conforto térmico e também uma maior movimentação do ar, com um custo praticamente zero, levando em consideração a utilização de matérias já existentes na empresa e sem destinação usual. Não foi preciso recalcular o fluxo de ar em metros cúbicos por hora, pois o fluxo de ar no projeto inicial atende as especificações da ABNT, sem necessária apenas as adequações propostas.

Portanto, é possível que o sistema proposto proporcione grandes melhorias na sensação de conforto térmico em virtude do deslocamento de ar que haverá dentro deste ambiente, porém, o estudo da ventilação industrial aplicada a engenharia de segurança deve ser estudada com maior abrangência, principalmente com um controle de todas as variáveis ambientais, como temperatura radiante, umidade do ar, velocidade do ar e outras condições internas e externas para então, após a compactação destes dados, encontrar uma solução que atenda às necessidades mais específicas e consiga-se atingir uma condição satisfatória no ambiente de trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Desempenho térmico de edificações Parte 2: Métodos de cálculo da Transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos de componentes de edificações - Projeto 02:135.07-001/2**: Rio de Janeiro, Brasil. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS –ABNT. **Instalações Centrais de Ar Condicionado para Conforto – NBR 6401**: Rio de Janeiro, Brasil. 1978.

BITTENCOURT, Leonardo; CÂNDIDO Christhina. **Introdução à Ventilação Natural**. Maceió, EdUFAL, 2005.

LAMBERTS, Roberto. **Conforto térmico e Stress Térmico**. Florianópolis, 2014.

MACINTYRE, Archibald Joseph. **Ventilação industrial e controle da poluição**. 2ª ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 1990.

NR 15, Atividades e operações insalubres. Disponível em <<http://www.mte.org.br>>, acesso em 15/05/2015.

RUAS, Álvaro César. **Conforto Térmico nos Ambientes de Trabalho**. FUNDACETRO, 1999.