

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS – UNIS / MG

ENGENHARIA MECÂNICA

SEBASTIÃO VITOR DE BRITO

Biblioteca Monsenhor Domingos Prado Fons

N. Class. *M 697 92*

Cutter *B 362 a*

Ano/Ed. *2010*

**SISTEMA DE BIBLIOTECAS
FEPESMIG**

BIBLIOTECA MONSENHOR DOMINGOS PRADO FONSECA

**ANÁLISE DE UM SISTEMA DE VENTILAÇÃO NATURAL DE UM GALPÃO
INDUSTRIAL**

**Varginha
2010**

SEBASTIÃO VITOR DE BRITO

**ANÁLISE DE UM SISTEMA DE VENTILAÇÃO NATURAL DE UM GALPÃO
INDUSTRIAL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado a GEDUP por Sebastião Vitor de Brito como requisito para obtenção do grau de Engenheiro Mecânico, sob a orientação do Professor Fernando Emílio Coradi.

**Varginha
2010**

SEBASTIÃO VITOR DE BRITO

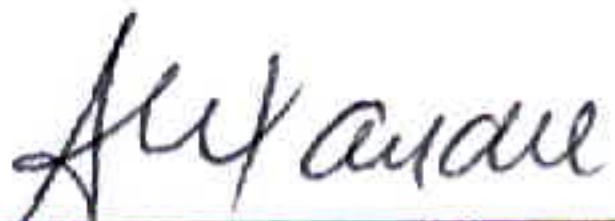
**ANÁLISE DE UM SISTEMA DE VENTILAÇÃO NATURAL DE UM GALPÃO
INDUSTRIAL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado a GEDUP por Sebastião Vitor de Brito como pré-requisito para obtenção do grau de Engenheiro Mecânico, pela Banca Examinadora composta pelos membros: Prof. Esp. Márcio de Santana, Prof. Ms. Alexandre Soriano e Prof. Fernando Emílio Coradi.

Aprovado em 29 / 12 / 2010



Professor Especialista Márcio de Santana



Professor Mestre. Alexandre Soriano



Professor Especialista Fernando Emílio Coradi

OBS.:

Dedico este trabalho a todos os meus familiares, amigos e colegas que muito contribuíram para a sua realização

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus que sempre me dá forças para lutar. Agradeço aos meus colegas pela cooperação e aos professores pelos ensinamentos transmitidos. Agradeço a compreensão da minha família pelos tantos momentos que estive ausente. Agradeço a todos que contribuíram de alguma maneira para a realização deste trabalho.

"Mantenham a mente aberta, assim como a capacidade de se preocupar com a humanidade e a consciência de fazer parte dela."

Dalai Lama

RESUMO

Um sistema de ventilação eficiente no ambiente de trabalho se faz necessário para promover o conforto térmico dos funcionários, propiciando que estes desenvolvam suas atividades com eficiência e segurança. A eficiência de um sistema de ventilação natural numa edificação depende do número, posição, tipo e tamanho das aberturas existentes para a passagem de ar e também da ação combinada das forças do vento e das diferenças de temperatura entre o interior e o exterior. O ambiente de trabalho sempre abriga alguns tipos de riscos, que podem ser físicos, químicos, biológicos ou ergonômicos. As atividades em ambientes com calor em nível desconfortante, ainda que não caracterizado como ambientes insalubres, merecem atenção porque afeta o rendimento e a eficiência dos funcionários. Este trabalho apresenta uma análise de um sistema de ventilação natural de um galpão industrial de médio porte (960m²), usado como almoxarifado por uma companhia de saneamento de Minas Gerais. Verificou-se a eficiência operacional do sistema de ventilação atual. O estudo tem por finalidade analisar o sistema de ventilação natural já existente, verificar o sistema de ventilação natural devido à ação do vento, devido à diferença de temperatura do ar interno e a ventilação devida à combinação destes dois processos. Por se tratar de um galpão de médio porte e cuja atividade exercida em seu interior não acarreta riscos às comunidades vizinhas, todo o ar retirado do interior do galpão pode ser lançado na atmosfera sem nenhum tratamento prévio. Para as atividades industriais que geram resíduos que possam causar riscos às comunidades vizinhas e ao meio ambiente, é necessário licenciamento ambiental para sua operação.

Palavras-chaves: ventilação. natural. ventos. contaminantes. calor.

ABSTRACT

An efficient ventilation system in the workplace is necessary to promote the thermal comfort of employees, providing that they develop their activities effectively and safely. The efficiency of a system of natural ventilation in a building depends on the number, position, type and size of openings for air passage and also the combined action of the forces of wind and temperature differences between indoors and outdoors. The desktop always harbors some types of risks, which may be physical, chemical, biological or ergonomic. The activities in environments with heat level uncomfortable, though not characterized as unhealthy environments, deserves attention because it affects the yield efficiency of staff. This paper presents an analysis of a natural ventilation system of a medium-sized industrial shed (960m²), used as a warehouse for a sanitation company in Minas Gerais. There was the operational efficiency of the current ventilation system. The study aims to examine the natural ventilation system that already exists, check the ventilation system due to wind, because the temperature difference of indoor air and ventilation due to a combination of these two processes. Because it is a medium sized shed whose activity carried on within it does not pose risks to surrounding communities, all the air removed from inside the shed can be released into the atmosphere without any previous treatment. For industrial activities that generate waste that may pose risks to surrounding communities and the environment, it is necessary environmental permits for its operation.

Keywords: ventilation. natural. winds. contaminantes. calor.

LISTA DE FIGURAS E FOTOS

Figura 01- Sistema de ventilação natural com uso de janelas portas e lanternins.....	21
Foto 01- Galpão industrial, vista panorâmica.....	25
Foto 02- Face frontal do galpão, detalhe portão e vitrô.....	26
Foto 03- Vitrô, detalhe da distância vertical entre o vitrô e o teto	26
Figura 02- Esquema de ventilação devido à ação do vento.....	28
Figura 03- Esquema de ventilação devido à diferença de temperatura	30
Figura 04- Sistema de ventilação devido à ação combinada do vento e da diferença de temperatura	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Tabela do número de renovações de ar necessárias para um ambiente de acordo com a atividade exercida em seu interior	27
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS

ACGIH	Conferência Americana de Higienistas Industriais
ASHARE	Sociedade Americana de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado
CO	monóxido de carbono
CO ₂	dióxido de carbono
SO ₂	dióxido de enxofre
CH ₄	gás metano
NO ₂	dióxido de nitrogênio
NH ₃	amônia
Cl	cloro
PPRA	Programa de Prevenção de Riscos Ambientais
CIPA	Comissão Interna de Prevenção de Acidentes
5 S	Cinco Sentidos: utilização, ordenação, limpeza, saúde e autodisciplina
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

LISTA DE SÍMBOLOS

$^{\circ}\text{C}$	grau Celsius- unidade de medida de temperatura
$^{\circ}\text{F}$	grau Fahrenheit- unidade de medida de temperatura
ft.....	pés- unidade de medida de comprimento no sistema britânico
ft^2	pés quadrado- unidade de medida de área no sistema britânico
ft^3	pés cúbicos- unidade de medida de volume no sistema britânico
m	metro- unidade de medida de comprimento no sistema internacional
m^2	metro quadrado- unidade de medida de área no sistema internacional
m^3	metro cúbico- unidade de medida de volume no sistema internacional
N_r	número de renovações necessárias de ar
Q	Vazão de ar necessária
Q_v	vazão de ar devido à ação do vento
Q_t	vazão de ar devido à ação do efeito chaminé
Q_T	vazão de ar devido à ação simultânea do vento e do efeito chaminé
Q_{TR}	vazão real de ar devido à ação simultânea do vento e do efeito chaminé

LISTA DE GRÁFICOS

- Gráfico- 01- gráfico usado para correção da Vazão devido à diferença entre as áreas entrada e saída de ar.....29
- Gráfico- 02- gráfico usado para obter o fator de correção da Vazão devido à ação simultânea da ação do vento e do efeito chaminé32

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
1.1. Objetivos.....	17
1.2. Justificativas.....	17
2. REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1. A composição do ar	18
2.2. Ventilação industrial e a importância do ar.....	19
2.3. Classificação sumária dos sistemas de ventilação.....	20
2.3.1. Sistema de ventilação geral	20
2.3.1.1. Sistema de ventilação natural	20
2.3.1.2. Sistema de ventilação geral diluidora.....	22
2.3.2. Sistema de ventilação local exaustora	22
2.4. Necessidades humanas de ventilação	22
2.5. Classificação dos contaminantes	23
2.6. Taxa de ventilação	24
3. DESENVOLVIMENTO.....	25
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	27
4.1. Ventilação natural devido à ação do vento.....	28
4.2. Ventilação natural devido à diferença de temperatura (efeito chaminé)	29
4.3. Ventilação natural devido à ação combinada do vento com o efeito chaminé..	30
5. RESULTADOS OBTIDOS COM A PESQUISA	32
5.1. Cálculo do volume do galpão.....	32
5.2. Cálculo da vazão necessária.....	33

5.3. Cálculo da vazão devido à ação do vento	33
5.4. Cálculo da vazão devido à diferença de temperatura (efeito chaminé)	34
5.5. Cálculo da vazão devido à ação combinada do vento e do efeito chaminé.....	35
6. CONCLUSÃO.....	37
REFERÊNCIAS	38

1. INTRODUÇÃO

A ventilação natural é muito utilizada em galpões industriais quando as atividades exercidas nestes recintos não geram contaminantes nocivos aos ocupantes do ambiente e nem às comunidades vizinhas. A ventilação natural quando bem dimensionada, consiste numa maneira simples, econômica e eficiente de se conseguir um bom conforto térmico para os ocupantes do ambiente. Este tipo de ventilação, em ambientes ditos fechados, reduz a concentração de odores desagradáveis, de microorganismos e de poeiras eliminando-os para o meio externo. Nas construções mais antigas não havia uma preocupação quanto ao conforto térmico. Nessas construções é comum ocorrer adaptações físicas do prédio para ser utilizado para uma nova atividade, não levando em consideração se o sistema de ventilação atenderá à nova demanda de ar devido a esta nova atividade exercida.

O objeto de estudo deste trabalho é o sistema de ventilação natural de um galpão que outrora fora utilizado como depósito de matéria prima para uma tecelagem e na atualidade é ocupado como almoxarifado por uma empresa de saneamento de Minas Gerais.

O referido galpão apresenta as seguintes dimensões: comprimento 60 metros, largura 16 metros, altura do pé direito 4,8 metros e altura da cumeeira 5,6 metros. O galpão é construído em alvenaria com cobertura metálica (telhas de zinco trapezoidais). As aberturas para a circulação do ar pela ação do vento (entradas e saídas) apresentam áreas desiguais. As aberturas da face frontal do galpão (portão e vitrês) correspondem a uma área total para a circulação do ar é de $24,24 \text{ m}^2$. As aberturas da outra face do galpão correspondem a uma área para circulação do ar de $9,74 \text{ m}^2$. Estas características são importantes para ventilação devido à ação do vento. Todas as aberturas do galpão estão localizadas praticamente a mesma altura. Esta característica influencia na ventilação devido à diferença de temperatura. No interior do galpão 16 funcionários que executam tarefas como: recepção e expedição de materiais, montagens de conexões hidráulicas e sanitárias. A entrada de veículos no recinto é esporádica e não foi considerada como fonte geradora de calor e contaminantes.

O número de renovações de ar por hora é definida com base nas características construtivas e ocupacionais do ambiente. A vazão de ar exigida é calculada com base no número de renovações de ar e no volume do galpão. A vazão de ar obtida com a ventilação natural está em função de todas as características acima mencionadas.

1.1. Objetivo do estudo

O objetivo dessa pesquisa foi analisar a eficiência de um sistema de ventilação natural de um galpão industrial. Com base no PPRA- Programa de Prevenção de Riscos Ambientais da empresa sabe-se que as atividades exercidas no galpão não são insalubres, mas, mesmo assim o conforto térmico dos funcionários foi levado em consideração, devido a várias reclamações dos mesmos.

1.2. Justificativas

Nas reuniões de CIPA – Comissão Interna de Prevenção de Acidentes e nas vistorias de 5S é constante as reclamações dos funcionários da empresa que trabalham no galpão quanto ao desconforto térmico no interior do recinto. Para atender e tratar as reclamações dos funcionários, mesmo sabendo que o ambiente não é insalubre, submeteu-se o sistema de ventilação natural hoje existente no galpão a uma análise, quanto a sua eficiência.

Embora o objetivo principal desta pesquisa seja analisar a eficiência do sistema de ventilação natural quanto ao conforto térmico, é necessário mencionar também algumas informações sobre poluentes do ar, pois, um sistema de ventilação natural eficiente atenua o efeito de alguns destes poluentes.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. A composição do ar

O ar atmosférico puro é composto por uma mistura de gases na seguinte proporção, em volume: (Macintyre, 1990, p. 4).

- 79,00% nitrogênio, hidrogênio, gases raros;
- 20,97% oxigênio;
- 0,03% dióxido de carbono

Nos locais fechados com presença de pessoas, além do aumento de temperatura ocorre também uma alteração nos valores citados acima na composição do ar atmosférico, tendo assim uma nova composição em volume: (Macintyre, 1990, p. 4).

- 78,00% nitrogênio, hidrogênio; gases raros;
- 20,69% oxigênio;
- 0,06% dióxido de carbono;
- 1,25% vapor d'água.

O ar expirado pelo homem retorna à atmosfera a uma temperatura de 36°C e com 100% de umidade. Neste caso o ar expelido pelo pulmão humano apresenta a seguinte composição: (Macintyre, 1990, p. 4).

- 75 % nitrogênio, hidrogênio, gases raros;
- 16 % oxigênio;
- 5 % vapor d'água e
- 4 % dióxido de carbono.

A atividade humana altera a composição do ar dentro dos recintos fechados. Ocorre uma diminuição da concentração de oxigênio e o aumento considerável das concentrações de vapor d'água e dióxido de carbono. Estas atividades humanas dentro de recintos fechados geram odores desagradáveis que afetam o bem estar e o conforto das pessoas que ali trabalham.

O aumento da temperatura do ambiente é agravada pela carga calórica liberada pelo metabolismo humano e é proporcional à atividade física exercida. Segundo Macintyre (1990, p. 35), metabolismo é o conjunto das transformações que os organismos vivos provocam nas moléculas de seus alimentos para construir suas próprias estruturas celulares ou libertar a energia necessária ao seu funcionamento. Metabolismo basal é a produção calórica por metro quadrado de superfície corpórea de um indivíduo em repouso, em jejum e em equilíbrio com o meio exterior. Corresponde à quantidade mínima de energia despendida para a manutenção das atividades fisiológicas do indivíduo e situa em torno de 37 quilocalorias.

Nos recintos fechados as poeiras vindas do meio externo e quando no interior dos recintos, decantam sobre pisos e materiais armazenados. Mesquita et al (1977, p.91) define poeira como partículas sólidas, com diâmetro em torno de um micron ($1 \text{ micron} = 1 \times 10^{-6}$ metros), podendo ser de origem mineral ou orgânica. A presença de pessoas insere também no ar do ambiente um grande número de contaminantes biológicos (fungos, vírus, bactérias, protozoários, etc.). Estas partículas ou particulados podem provocar problemas respiratórios e outros.

2.2. Ventilação industrial e a importância do ar

A composição do ar nos recintos ditos fechados sofre alterações de acordo com o tipo de atividade exercida neste recinto. Podem ocorrer alterações físicas, como variações na pressão, temperatura. O aumento ou a diminuição na concentração de elementos que normalmente existem na composição do ar e a geração de poeiras, fumos, gases, odores e névoas, são chamadas de alterações químicas. Segundo Macintyre (1990, p. 1), numa acepção ampla ventilar significa deslocar o ar. Na prática o deslocamento do ar objetiva a retirada ou o fornecimento de ar a um ambiente, renovando o ar deste ambiente.

A importância da presença do ar em todo nos ambientes de trabalho está além de sua conhecida, mas esquecida, importância como fonte de oxigênio para o metabolismo do homem.

O ar é o elemento que, de maneira contínua e permanente, independente de meios artificiais ou naturais, mantém o contato direto entre o ambiente ocupacional e o meio ambiente geral. Contendo vapor d'água, estabelece a temperatura natural do ambiente, é responsável pela sensação de conforto térmico. É o meio natural de propagação das ondas

sonoras, influenciando também no conforto acústico. É veículo que transporta as impurezas nele suspensas até as vias de penetração e absorção dos organismos e transporta estas mesmas impurezas entre os diferentes ambientes. (Fundacentro, Curso de Engenharia do Trabalho 1979, p. 1).

2.3. Classificação sumária dos sistemas de ventilação

Os sistemas de ventilação são classificados de acordo com as principais finalidades a que se destina. (Mesquita et al (1977, p. 9).

Os sistemas de ventilação se dividem em sistemas de ventilação geral e sistema de ventilação local exaustora. (Macintyre, 1990, p. 2).

2.3.1 Ventilação geral

Esta modalidade de ventilação é um método disponível para o controle do ar de um ambiente fechado e tem como características a movimentação de uma quantidade relativamente grande de ar nos ambientes. Pode ser obtida por: insuflação e exaustão naturais, insuflação mecânica e exaustão natural, insuflação natural e exaustão mecânica, e por insuflação e exaustão mecânicas.

Para Mesquita et al (1977, p. 9), este tipo de ventilação visa o conforto, a eficiência, a manutenção da saúde e segurança do homem, e por imposições tecnológicas visa à conservação de materiais e equipamentos.

2.3.1.1 Sistema de ventilação natural

A ventilação industrial tem como objetivo principal permitir a execução dos processos industriais e dar aos trabalhadores melhores condições de trabalho. Nos processos onde o ar entra e sai continuamente de todo o recinto através das portas, janelas, lanternins e outros meios naturais, denomina-se ventilação natural (figura 01). (Almeida et al, 1997, p.1; 4).

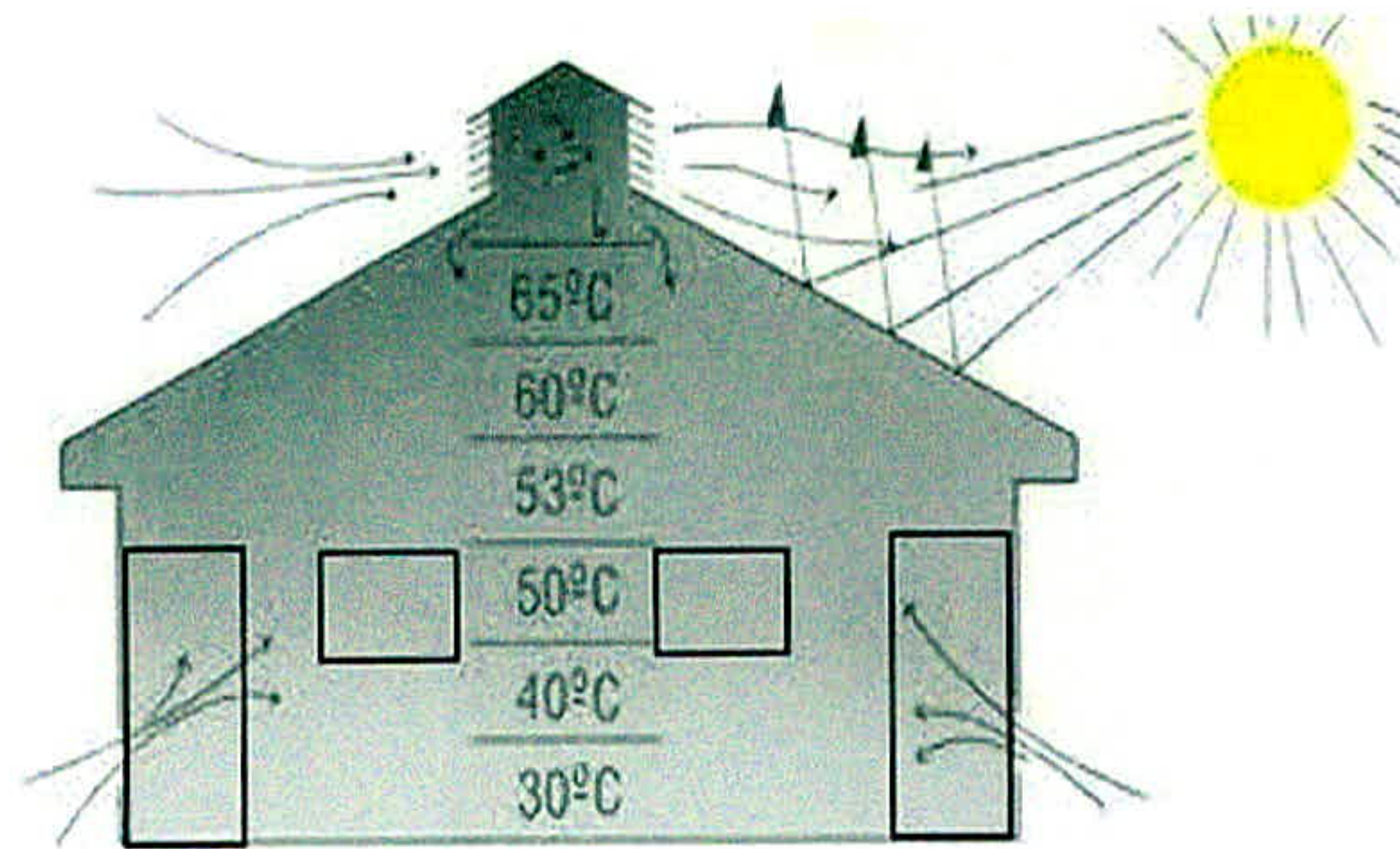


Figura 01: Sistema de ventilação natural através de portas, janelas e lanternins

Fonte: <http://www.Luftmax.com.br/empresa.php>. Adaptada

Pode ser obtida pela ação de vento, por diferença de temperatura e pela combinação destes dois processos.

Para aproveitar de maneira eficiente a ação do vento nos sistemas de ventilação natural é necessário projetar as aberturas de entrada do vento direcionada para o lado dos ventos predominantes (Zona de pressão positiva). (Fundacentro, Curso de engenharia de segurança do trabalho, 1979)

As condições do vento não são sempre as mesmas, sofrem variações de intensidade e direção ao longo do ano e até mesmo no decorrer do dia. Devido a estas variações, a ventilação natural pela ação do vento não oferecem garantia de uniformidade, inviabilizando sua adoção em casos onde se necessita a retirada de poluentes do recinto (Macintyre, 1990, p. 39).

A maior eficiência de vazão por unidade de abertura é conseguida quando as áreas de entrada e saída são iguais (Mesquita, et al, 1977, p. 123). Quando as aberturas de entrada e saída não forem iguais é necessário fazer correções usando gráficos específicos.

Segundo Macintyre (1990, p. 40), a menor densidade do ar quente faz com que o mesmo se eleve e tenda a escapar por aberturas colocadas nas partes elevadas como, janelas, lanternins, clarabóias, etc. Este processo é denominado ventilação natural por diferença de temperatura ou efeito chaminé.

Para obter a maior eficiência da ventilação pelo efeito chaminé é necessária a existência de aberturas de saída para o ar em cota mais elevada que as aberturas de entrada. Estas aberturas devem estar localizadas nos tetos e nas partes mais elevadas das paredes laterais porque o ar quente com menor peso específico tende a subir. Estas aberturas podem ser lanternins, janelas e clarabóias.

A ventilação natural pode ser obtida a partir da ação simultânea dos dois mecanismos já mencionados o denominado efeito chaminé e o efeito dos ventos.

“A ventilação por forças naturais encontra aplicação em edifícios industriais, edifícios públicos, escolas, habitações e garagens. As forças naturais disponíveis para a movimentação são: (1) forças do vento e (2) diferenças de temperaturas entre o interior e exterior do edifício. O movimento de ar pode ser causado por estas forças agindo individual ou combinadamente, dependendo das condições atmosféricas, projeto de edifício e localização.” (Fundacentro, Curso de engenharia de segurança do trabalho, 1979. p. 817)

2.3.1.2 Sistema de ventilação geral diluidora

Neste sistema de ventilação o deslocamento do ar é provocado por ventiladores ou outro meio mecânico. Também denominada de ventilação mecânica. (Almeida et al, 1997, p. 1; 4)

2.3.2 Sistema de ventilação local exaustora

É o tipo de que se executa por exaustão junto à fonte de produção de um poluente nocivo à saúde, antes de sua dispersão na atmosfera ambiente.

Para Macintyre (1990, p. 03), esta modalidade de ventilação é realizada por um equipamento captor de ar junto à fonte poluidora, isto é, produtora de um poluente nocivo à saúde, de modo a remover o ar do local para a atmosfera, por um sistema exaustor, ou a tratá-lo devidamente, a fim de ser-lhe dada destinação conveniente, isto é, sem risco de poluição ambiental.

Segundo Mesquita (1977, p. 10) a ventilação local visa basicamente à manutenção da saúde e da segurança do trabalhador, embora tenha influência, até certo ponto, nas condições relacionadas a seu conforto e eficiência.

2.4. Necessidades humanas de ventilação

A redução do nível do oxigênio do ar altera o metabolismo do indivíduo. Para uma redução entre 16 a 20%, ocasiona dificuldade de respirar; entre 11 a 16% provoca dor de cabeça; de 8 a 10% provoca ânsia, vômito e perda de consciência.

A necessidade de ventilação nas residências, espaços comerciais, escritórios e ambientes fechados onde não há equipamentos e máquinas que geram gases, é muito importante para controlar os odores corporais, odores de cozinhas, e outras impurezas odoríferas. Já a ventilação para manter a quantidade necessária de oxigênio e remover o dióxido de carbono produzido pela respiração nestes ambientes não se faz necessário. A sufocação por deficiência de oxigênio ou por excesso de gás carbônico, gerados pela respiração humana, é potencialmente impossível em construções não subterrâneas. Mackey apud Mesquita (1977, p. 10) oferece uma interessante hipótese sobre as alterações físicas e químicas que ocorrem com o ar interno de um ambiente, como resultado da ocupação humana, como segue. Se um adulto estiver em um ambiente completamente vedado e termicamente isolado, com 28,3 m³ de ar, inicialmente a 21,1°C, a temperatura aumentará para 37,7 °C, em menos de duas horas (02), enquanto que serão necessárias setenta e cinco horas (75) para reduzir o oxigênio para de 20.69% para 16 % e aumentar a dióxido de carbono de 0,06 % para 5 %. Nesse caso extremo, verifica-se claramente que a alteração física é mais perigosa do que a alteração química. Com base nestes dados, a concentração de dióxido de carbono no ambiente só é usada como índice para indicar a necessidade de ventilação quando neste ambiente existem máquinas ou equipamentos que geram estes gases.

2.5. Classificação dos contaminantes

No ar atmosférico, além dos gases nitrogênio, hidrogênio, gases raros, oxigênio e dióxido de carbono, encontram-se também partículas de origem orgânicas e inorgânicas, odores e microorganismos que podem ser nocivos à saúde do homem.

“O ar, mesmo considerado puro, contém normalmente, além dos gases nitrogênio, hidrogênio, gases raros, oxigênio e dióxido de carbono, quantidades pequenas de poeira de origem mineral, vegetal ou animal, além de bactérias e os chamados odores, desagradáveis ou não ao olfato. Acima de certa concentração, essas substâncias passam a constituir poluentes ou contaminantes ocasionando prejuízos à saúde humana e danos ecológicos.” (Macintyre, 1990, p. 5)

Segundo Macintyre (1990, p. 5), os poluentes de acordo com as suas origens, características físico-químicas, características dimensionais, são assim classificados:

- FUMOS - São partículas sólidas, em geral com diâmetro inferior a 10 micron (1 micron = 1x10⁻⁶ metros). Resultam da condensação de partículas em estado

gasoso, geralmente após a volatilização de metais fundidos. Tendem a flocular no ar;

- **POEIRAS** - São partículas sólidas com diâmetro entre 1 e 100 micron (1 micron = 1×10^{-6} metros), resultante da desintegração mecânica de substâncias inorgânicas ou orgânicas. Não se difundem, ao contrário, precipitam pela ação da gravidade;
- **FUMAÇA** - São resultantes da combustão incompleta de materiais orgânicos (lenha, óleo combustível, carvão, papel, cigarro, etc). Apresentam diâmetro inferior a 1 micron (1 micron = 1×10^{-6} metros);
- **NÉVOAS** - São partículas líquidas com diâmetro entre 0,1 e 100 micron (1 micron = 1×10^{-6} metros), resultantes da condensação de vapores ou da dispersão mecânica de líquidos em consequência de pulverizações, nebulizações e respingos;
- **ORGANISMOS VIVOS** - Os mais comuns são os pólen das flores (de 5 a 10 micron), os esporos de fungos (de 1 a 10 micron) e as bactérias (de 0,2 a 20 micron). Em circunstâncias especiais e em geral em locais confinados, pode ocorrer a presença de vírus (0,002 a 0,05 micron);
- **GASES**- Quando em excesso, os gases NH_3 , SO_2 , NO_2 , CO , CH_4 , Cl , CO_2 , são também considerados contaminantes.

2.6. Taxa de ventilação

As taxas de renovação do ar em recintos fechados, de acordo com o tipo do ambiente são definidas por instituições como a American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning – ASHARE, Sociedade Americana de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado e a American Conference of Industrial Hygienists- ACGIH, Conferência Americana de Higienistas Industriais.

Para Mesquita et al (1977, p. 178), taxa de ventilação é a vazão de ar que um sistema de ventilação introduz ou retira de um ambiente. Quando, em um ambiente de volume (V), um sistema de ventilação faz atravessar um volume de ar igual ao volume do ambiente, diz-se que ocorreu uma troca de ar neste ambiente.

3. DESENVOLVIMENTO

Neste estudo foi analisado o sistema de ventilação natural de um galpão usado como almoxarifado por uma empresa de saneamento de Minas Gerais- (foto 01). A área do galpão é de 960 metros quadrados, com pé direito de 4,8 metros e cumeeira 5,6 metros. O galpão e foi construído na década de 1980, em alvenaria e com cobertura metálica (telhas de zinco trapezoidais).



Foto 01: Galpão industrial, vista panorâmica

Fonte: O autor

As aberturas da face frontal do galpão para a circulação do vento são compostas por um portão com área de $15,6 \text{ m}^2$ e oito vitrôs basculantes com área efetiva total para a ventilação de $8,64 \text{ m}^2$ -(foto 02). Assim a área total das aberturas de entrada para o vento é de $24,24 \text{ m}^2$ ou $260,92 \text{ ft}^2$.

SISTEMA DE BIBLIOTECAS
FEPESMIG
BIBLIOTECA MONSENHOR DOMINGOS PRADO FONSECA



Foto 02: Face frontal do galpão, detalhe portão e vitrô

Fonte: O autor

As aberturas da outra face do galpão são compostas por nove vitrôs idênticos aos da face frontal com área de abertura para saída do vento de $9,74 \text{ m}^2$ ou $104,84 \text{ ft}^2$. O referido galpão é ocupado por 16 funcionários que executam tarefas como: recepção-expedição de materiais e montagens de conexões hidráulicas e sanitárias. Todos os vitrôs do galpão estão localizados praticamente a mesma altura da principal abertura para entrada do ar e muito abaixo do teto (foto 03).

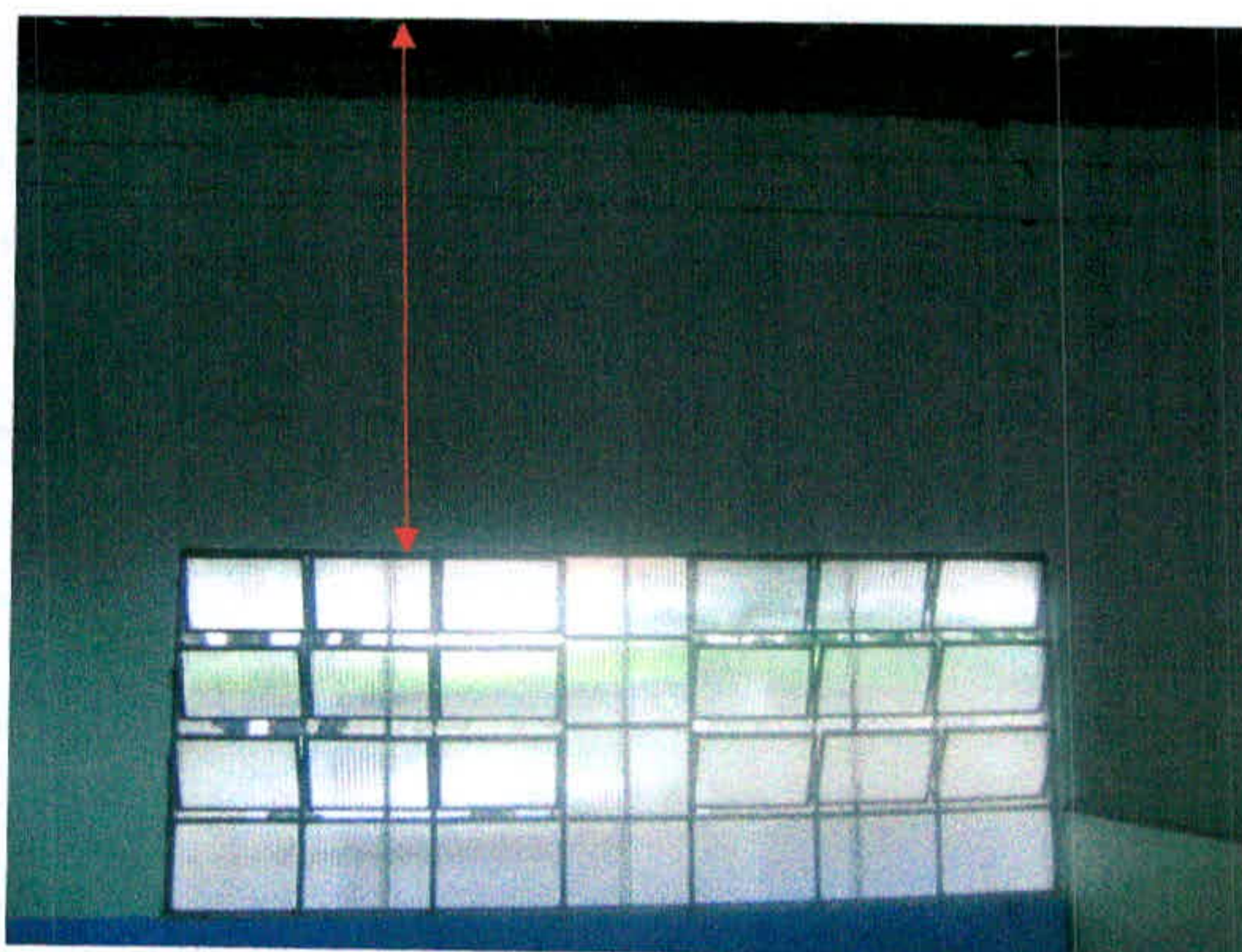


Foto 03: Vitrô (detalhe da distância vertical ente o vitrô e o teto)

Fonte: O autor

Na foto acima, detalhe mostrando a grande distância vertical entre o vitrô e o teto. Este fator pode comprometer a eficiência da ventilação através do efeito chaminé.

4. MATERIAIS E MÉTODOS UTILIZADOS

A eficiência de um sistema de ventilação natural em edificações depende de muitos fatores, tais como: a posição da edificação em relação às condições climáticas, as características construtivas do edifício posição, número, tipo e tamanho das aberturas existentes e o perfil ocupacional do ambiente.

Neste trabalho verificou-se a eficiência do sistema de ventilação natural do ambiente, considerando características construtivas e ocupacionais do galpão e as características climáticas locais, utilizando as equações, tabelas e gráficos encontrados nas literaturas citadas no referencial teórico.

Os parâmetros como o número de renovações de ar por hora para um determinado recinto, a vazão de ar necessária, as vazões obtidas devido à ação do vento, devido ao efeito chaminé e a combinação do efeito chaminé com a ação do vento são definidos a partir das características construtivas e ocupacionais do recinto.

Com as características locais para o vento e com o uso de tabelas, gráficos e equações específicas para ventilação pode-se determinar os valores para os parâmetros citados acima.

A velocidade do vento local foi obtida a partir das informações da meteorologia local do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE e do Instituto ClimaTempo, para cidade de Alfenas- MG.

As renovações do ar do ambiente são definidas de acordo com o ambiente e sua utilização, conforme a tabela 01 a seguir:

Tabela 01- Números de renovações necessárias de ar por hora

Recinto a ser ventilado	Número de renovações por hora*
Auditórios e salas de reuniões	04 a 06
Casa de caldeiras	20 a 30
Lanchonetes	10 a 12
Salas de máquinas	20 a 30
Oficinas	06 a 10
Garagens	06 a 08
Fundições	20 a 30
Fábricas	10a 20
Pinturas e polimentos	18 a 22
Restaurantes	06 a10
Salas de aulas	02 a 03

Fonte : Engenharia de Ventilação Industrial, A.L.S. Mesquita/ F.A. Guimarães/ N. Nefussi. Adaptada.

* As trocas de ar até oito por hora são suficientes para remover contaminantes emitidos por ocupantes. O Limite superior da faixa é recomendado para remover calor e vapor em zonas temperadas. Em climas quentes sugere-se o dobro dos valores da tabela.

A vazão necessária de acordo com o número de renovações é dada pela equação 01.

$$N_r = \frac{Q}{V_s} \quad \text{equação-01}$$

onde:

N_r = número de renovações por hora, conforme tabela 01;

Q = vazão de ar em metros cúbicos por hora ($\text{m}^3 \times \text{h}^{-1}$);

V_s = volume do recinto em metros cúbicos (m^3).

4.1. Ventilação natural devido à ação do vento

Neste processo de ventilação, as saídas para o ar devem estar localizadas nas regiões de baixa pressão. Estas saídas podem ser lanternins e clarabóias ventiladas, colocadas em locais do telhado onde a pressão é mais baixa, por ser maior aí a velocidade do vento (figura 02).

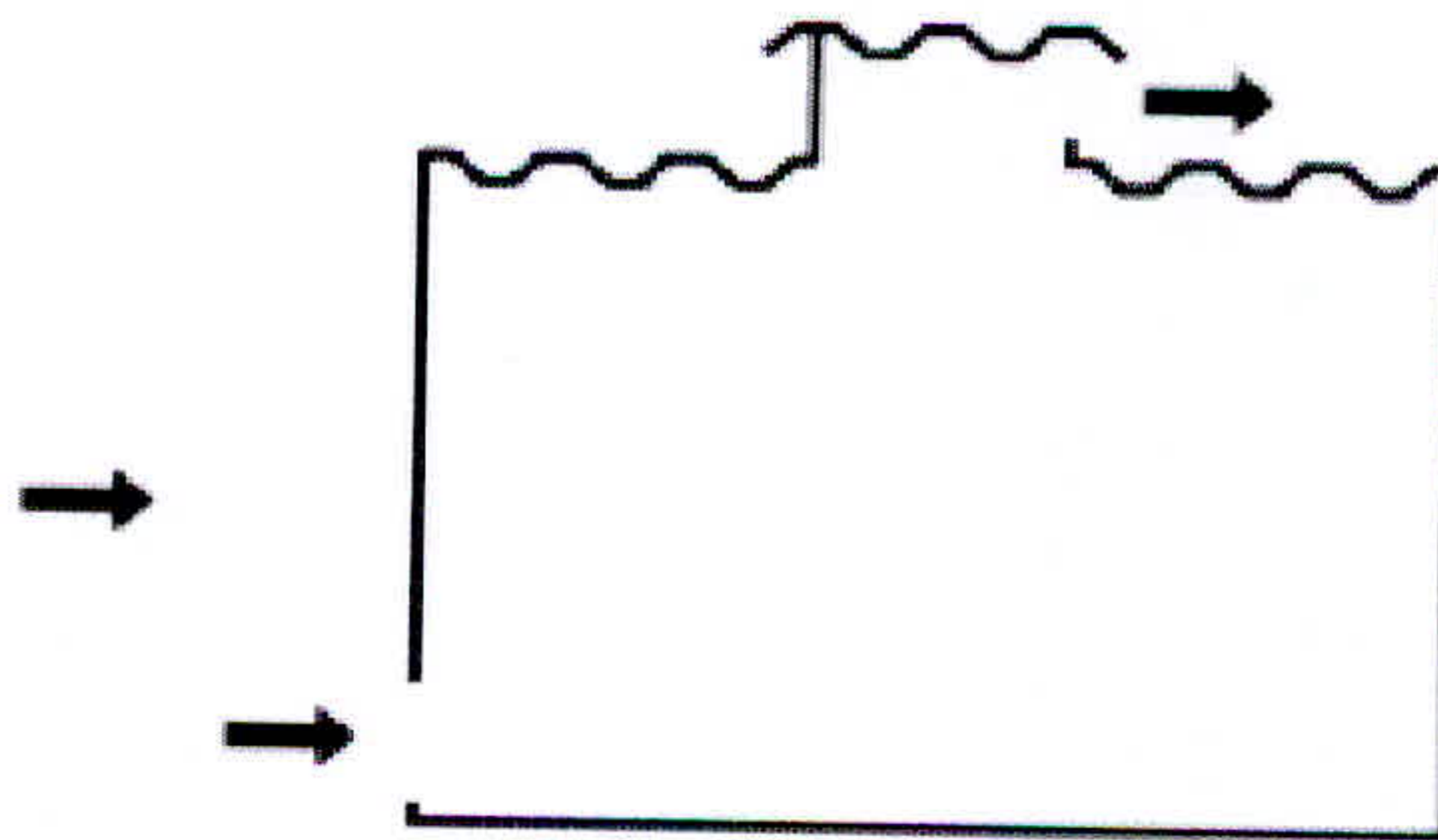


Figura 02: Esquema de ventilação devido à ação do vento

Fonte: <http://www.scielo.br/scielo>. Adaptada

Estas aberturas representam uma opção de saída de gases ou ar em temperatura tal que a sua densidade seja menor, possibilitando sua elevação até a atmosfera externa. A vazão de ar que entra em um recinto devido à ação do vento pode ser calculada pela equação 02.

$$Q_v = E \times A \times V \quad \text{equação-02}$$

Q_v = vazão de ar em pés cúbicos por minuto ($\text{ft}^3 \times \text{min}^{-1}$);

A = área total de aberturas para a entrada do ar em pés quadrados (ft^2);

V = velocidade do vento em pés por minuto ($\text{ft} \times \text{min}^{-1}$);

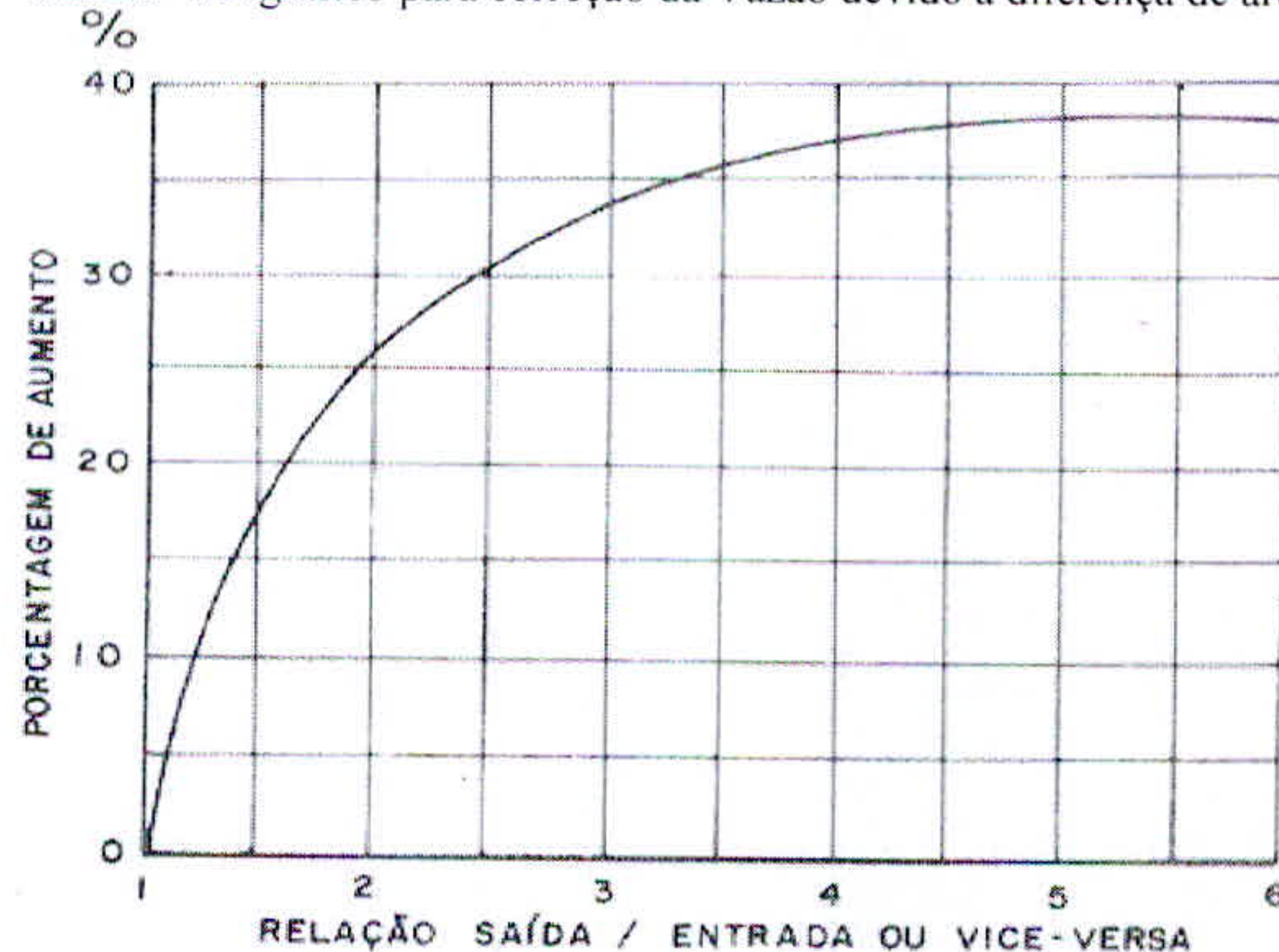
E = Fator que depende das características das aberturas*,

*" E" vale de 0,5 a 0,6 para ventos perpendiculares a parede onde estão as aberturas e 0,25 a 0,35 para ventos que forem diagonais.

A equação acima é válida para áreas de entrada e saída iguais. Quando as aberturas de entrada e saída não forem iguais segue os seguintes passos:

- I. efetua-se o cálculo com base na menor área;
- II. encontra-se o valor da relação entre a maior e a menor área;
- III. com o valor do item anterior, encontra o fator de correção (%) no gráfico- 01;
- IV. o percentual encontrado no gráfico deve ser acrescido à vazão encontrada com base na menor área.

Gráfico- 01: gráfico para correção da Vazão devido à diferença de áreas entrada e saída



Fonte: R. Jorgensen, Fan engineering (5), apud Mesquita et al, 1977, p. 125

É necessário fazer a correção no gráfico porque o aumento de área resulta em aumento na vazão, mas, este aumento não é proporcional.

4.2. Ventilação natural devido à diferença de temperatura (efeito chaminé)

O processo em que o ar quente, com menor densidade, se eleva e sai pelas aberturas superiores do recinto é denominado efeito chaminé- figura 02. Este método proporciona uma vazão dada pela equação 03.

$$Q_t = 9,4 \times A \times \sqrt{(H \times (T_i - T_e))}, \quad \text{equação-03}$$

onde,

Q_t = Vazão de ar em pés cúbico por minuto ($\text{ft}^3 \times \text{min}^{-1}$);

A = Área livre das entradas ou saídas, supostas iguais, em pés quadrados (ft^2)

H = Distância vertical entre as aberturas de entrada e saída, em pés (ft)

T_i = Temperatura média do ar interior a altura das aberturas de saída, em graus Fahrenheit,

T_e = Temperatura do ar exterior, em graus Fahrenheit,

9,4 = Constante de proporcionalidade, incluindo o valor correspondente a 65% para levar em conta a efetividade das aberturas. Deve-se reduzir este valor para 50% (a Constante passa a ser 7,2) se as condições de escoamento entre a entrada e a saída não forem favoráveis.

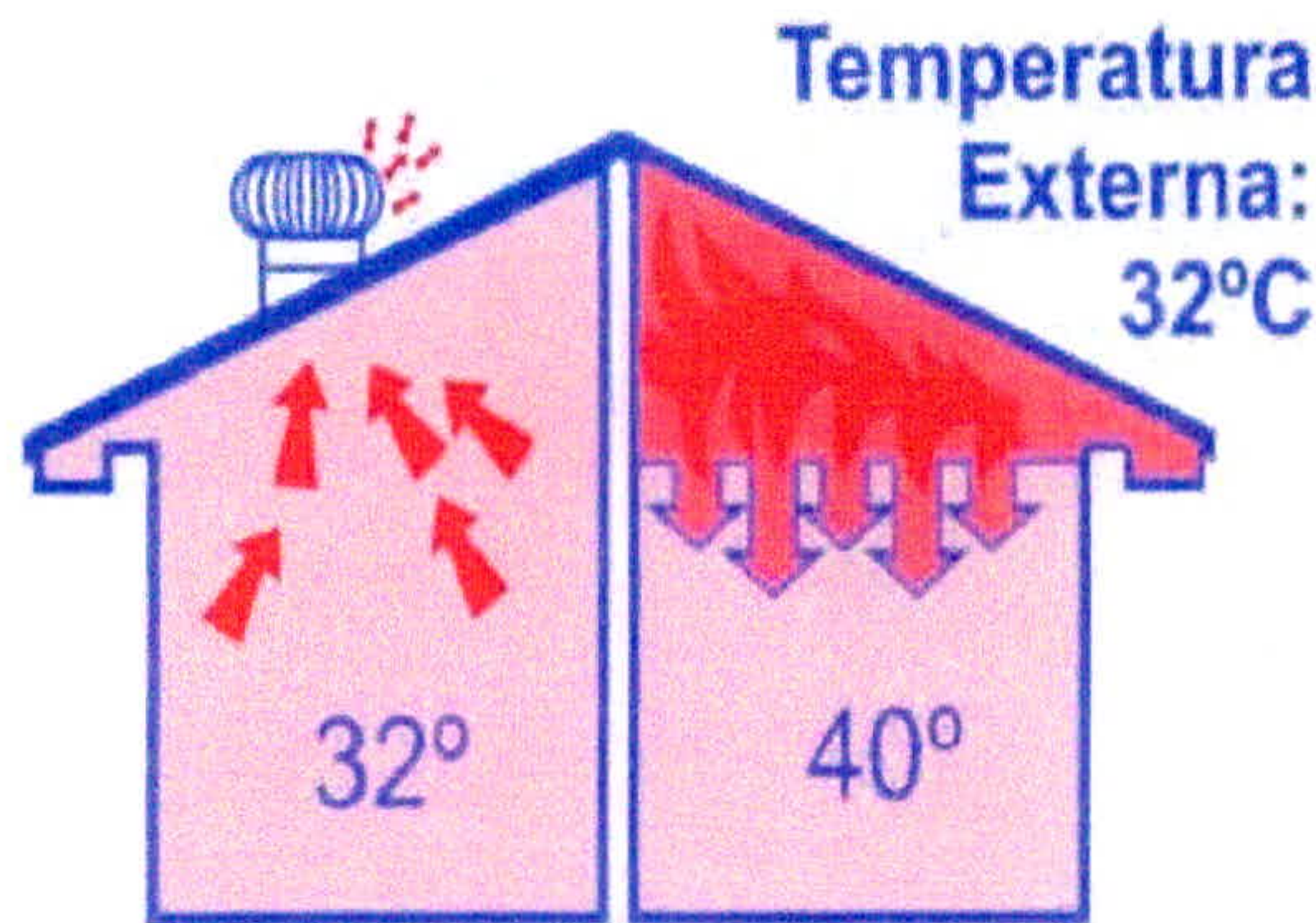


Figura 02: Esquema de ventilação devido à diferença de temperatura

Fonte: [http:// ventcenter.com](http://ventcenter.com)

A figura acima exemplifica como comporta a temperatura interna com e sem o efeito chaminé.

4.3. Ventilação natural devido à ação combinada do vento com o efeito chaminé

Neste processo a ventilação ocorre pela ação combinada da ação do vento e da diferença de temperatura (figura 04).

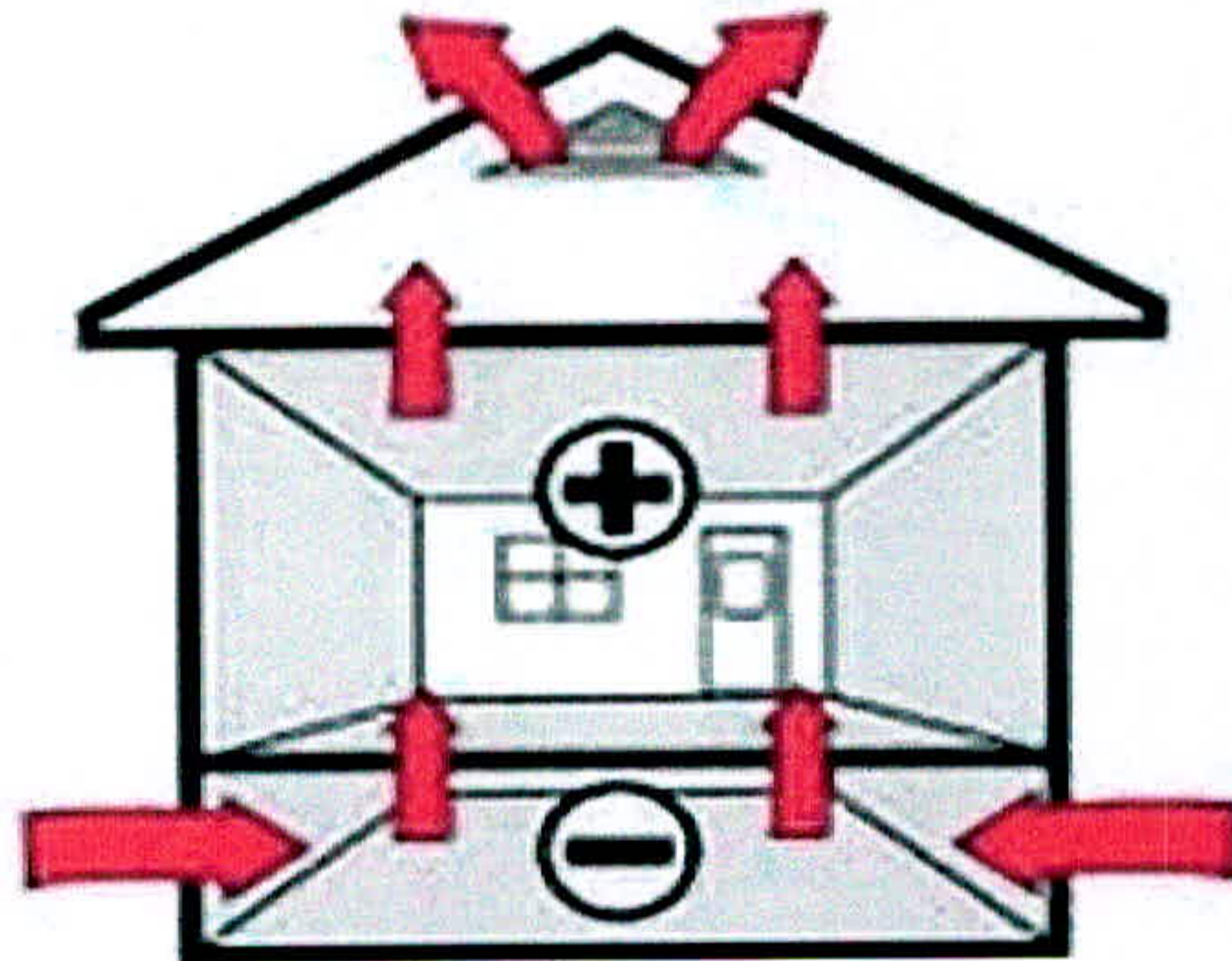


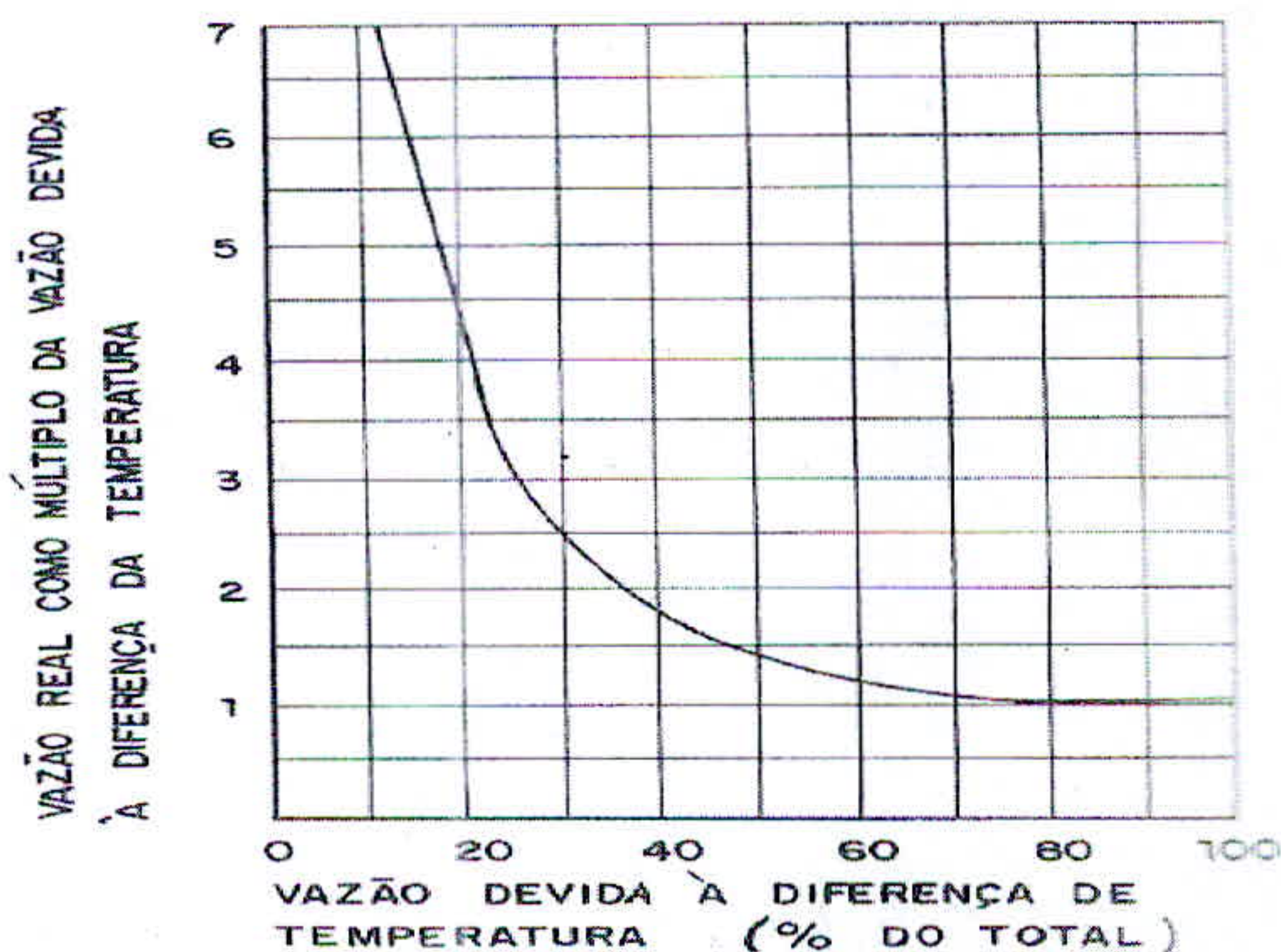
Figura 03: Sistema de ventilação devido à ação combinada do vento e da diferença de temperatura.

Fonte: <http://www.ecopore.com/ciencia-da-construcao>

Para calcular a vazão total, ou seja, o resultado dos dois tipos de ventilação, deve se calcular as duas vazões separadamente e partir do gráfico 02 fazer a correção para os efeitos combinados, seguindo os passos seguir:

- I. calcula-se a vazão devido à ação do vento (Q_v);
- II. calcula-se a vazão devido à diferença de temperatura (Q_t);
- III. somam-se as duas vazões, obtendo a vazão total (Q_T);
- IV. encontra-se a relação entre as vazões Q_t e Q_T (Q_t/Q_T);
- V. entrando-se no gráfico com o valor da relação Q_t/Q_T , encontra-se o fator ϕ pelo qual se deve multiplicar o valor da vazão devido ao efeito de temperatura (Q_t) para obter o valor da vazão total real (Q_{TR}).

Gráfico 02: fator de correção para ação simultânea do vento e da diferença de temperatura



Font: R. Jorgensen, Fan engineering (5), aped Mesquite et al, 1977, p. 125

Fazendo a correção no gráfico acima, encontra-se a vazão total real devido à ação combinada dos dois processos.

5. RESULTADOS OBTIDOS COM A PESQUISA

Para definir o número de renovações necessárias em um recinto dito fechado utilizamos os dados dimensionais do recinto (volume) e as características quanto às atividades executados em seu interior.

5.1. Cálculo do volume do galpão

Efetuando os cálculos para obter o volume do galpão.

Dados para o cálculo do volume do galpão:

Comprimento do galpão = 60 m

Largura do galpão = 16 m

Altura do pé direito = 4,8 m

Altura da cumeeira = 5,6 m

Logo, o volume do galpão é dado por:

$$V_g = (60 \text{ m} \times 16 \text{ m} \times 4,8 \text{ m}) + ((8 \text{ m} \times 0,8 \text{ m}) / 2) \times \text{dois} \times 60 \text{ m}$$

$$V_g = 4992 \text{ m}^3 \text{ ou } 176290,82 \text{ ft}^3$$

O volume do galpão e de 4992 m³ ou 176290,82 ft³.

5.2. Cálculo da vazão necessária

Na tabela 01, linha 05, encontra-se um número de renovações sugerido de 6 a 10 renovações por hora, porém existe uma observação que diz: "... O Limite superior da faixa é recomendado para remover calor e vapor em zonas temperadas. Em climas quentes sugere-se o dobro dos valores da tabela.", logo serão utilizadas 20 renovações por hora.

Dados para o cálculo da vazão necessária:

Número de renovações necessárias de ar = 20 renovações por hora (tabela-01)

Volume do galpão = 176290,82 ft³

$$N_r = \frac{Q}{V}$$

$$\frac{20}{1} = \frac{Q}{176290,82 \text{ ft}^3}$$

$$Q = 3525816,4 \text{ ft}^3 \times \text{h}^{-1}$$

$$Q = 58763,60 \text{ ft}^3 \times \text{min}^{-1}$$

A vazão necessária de ar para manter o conforto térmico será de 58763,60 ft³ x min⁻¹.

5.3. Cálculo da vazão devido à ação do vento

Com os valores das áreas de abertura do galpão e a velocidade média do vento (10 km / h), utiliza-se a equação 02 para obter a vazão de ar devido à ação do vento. Será admitido o menos crítico dos fatores característico das aberturas. Como as áreas de entrada e saída são diferentes, será calculado menor área e efetuada a devida correção usando o gráfico 01.

Dados para o cálculo da vazão devido à ação do vento:

$$V = 10 \text{ km} \times \text{h}^{-1} = 546,806 \text{ ft} \times \text{min}^{-1}$$

Área = 9,74 m² = 104,84 ft² (utiliza-se a menor área, pois, áreas de entrada e saída para o ar são desiguais)

E = 0,6 (fator de eficiência do vento que varia de 0,25 a 0,6)

Logo a vazão em função do efeito do vento é:

$$Q_v = E \times A \times V$$

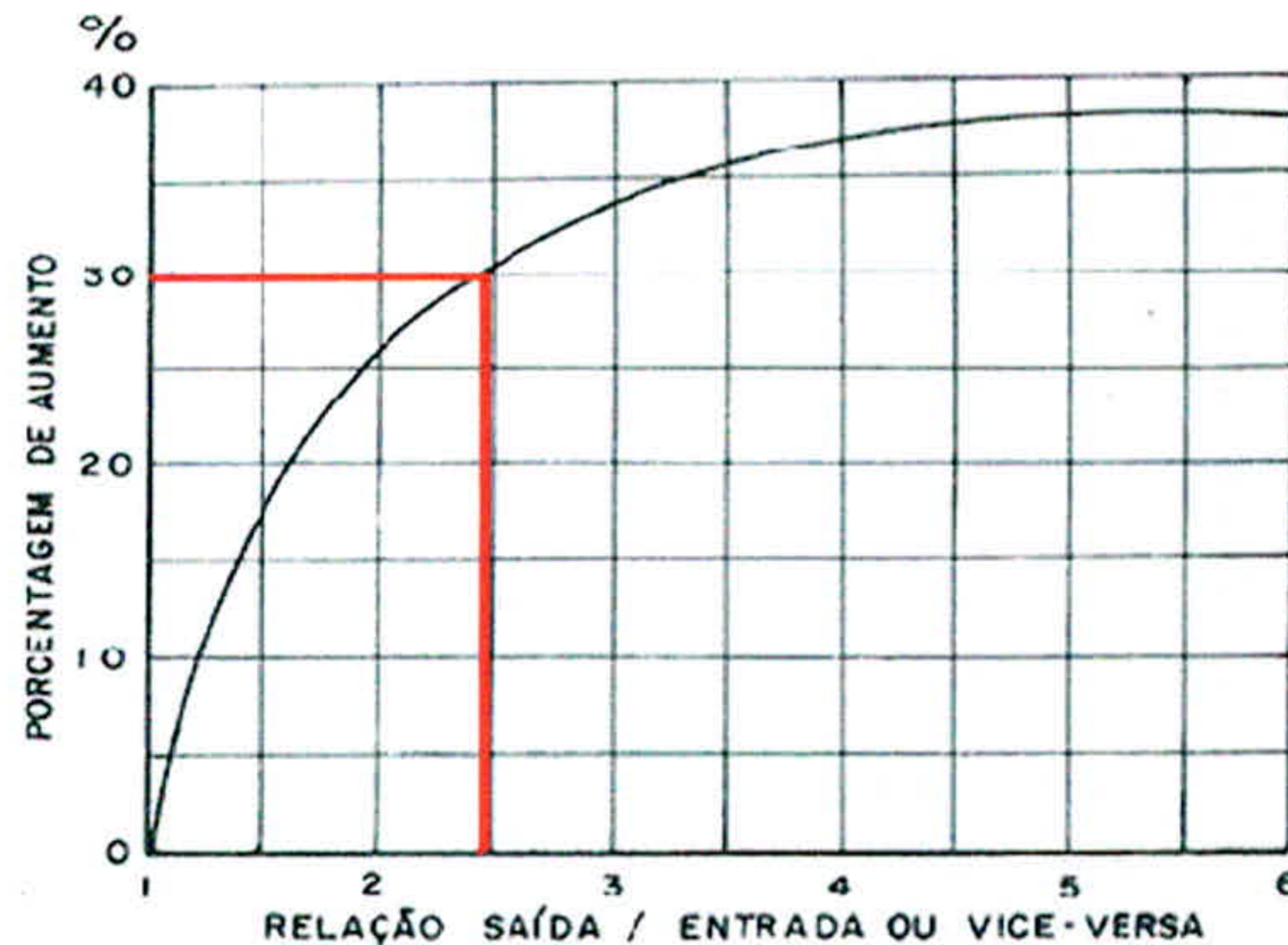
$$Q_v = 0,6 \times 104,84 \times 546,80 \text{ ft}^3 \times \text{min}^{-1}$$

$$Q_v = 34395,90 \text{ ft}^3 \times \text{min}^{-1}$$

É necessário fazer a correção devido à diferença de área:

A relação, área maior/ área menor = $260,92/104,84 = 2,48$

Para a relação 2,48 encontra no gráfico 01 o fator de correção de 30%.



$$Q_v = 34395,90 \text{ ft}^3 \times \text{min}^{-1} \times 1,3$$

$$Q_v = 44714,67 \text{ ft}^3 \times \text{min}^{-1}$$

A vazão devido à ação do vento é inferior a vazão exigida de acordo com o número de renovações.

5.4. Cálculo da vazão devido à diferença de temperatura (efeito chaminé)

Quando se usa o efeito chaminé o máximo que se consegue é que a temperatura interna seja igual à externa. O ar quando se aquece sofre uma diminuição em sua densidade. Isso faz com que o ar se eleve que e tenda a escapar por aberturas colocadas nas partes elevadas das construções. Como as áreas de entrada e saída são diferentes, será calculado com base na menor área, usando a equação 03 e efetuada a devida correção usando o gráfico 01.

Dados para o cálculo da vazão devido ao efeito da diferença de temperatura:

Área = $9,74 \text{ m}^2 = 104,84 \text{ ft}^2$ (utiliza-se a menor área, pois, áreas de entrada e saída para o ar são desiguais)

Temperatura interna $T_i = 28 \text{ }^\circ\text{C} = 82,4 \text{ }^\circ\text{F}$

Temperatura externa $T_e = 26 \text{ }^\circ\text{C} = 78,8 \text{ }^\circ\text{F}$

$T_i - T_e$ = será admitida uma diferença de temperatura $2 \text{ }^\circ\text{C}$ ou $3,6 \text{ }^\circ\text{F}$

Altura vertical entre as aberturas de entrada e saída para o ar $h = 1$ ft

Logo a vazão devido ao efeito da diferença de temperatura será:

$$Q_t = 9,4 \times A \times \sqrt{(H \times (T_i - T_e))}$$

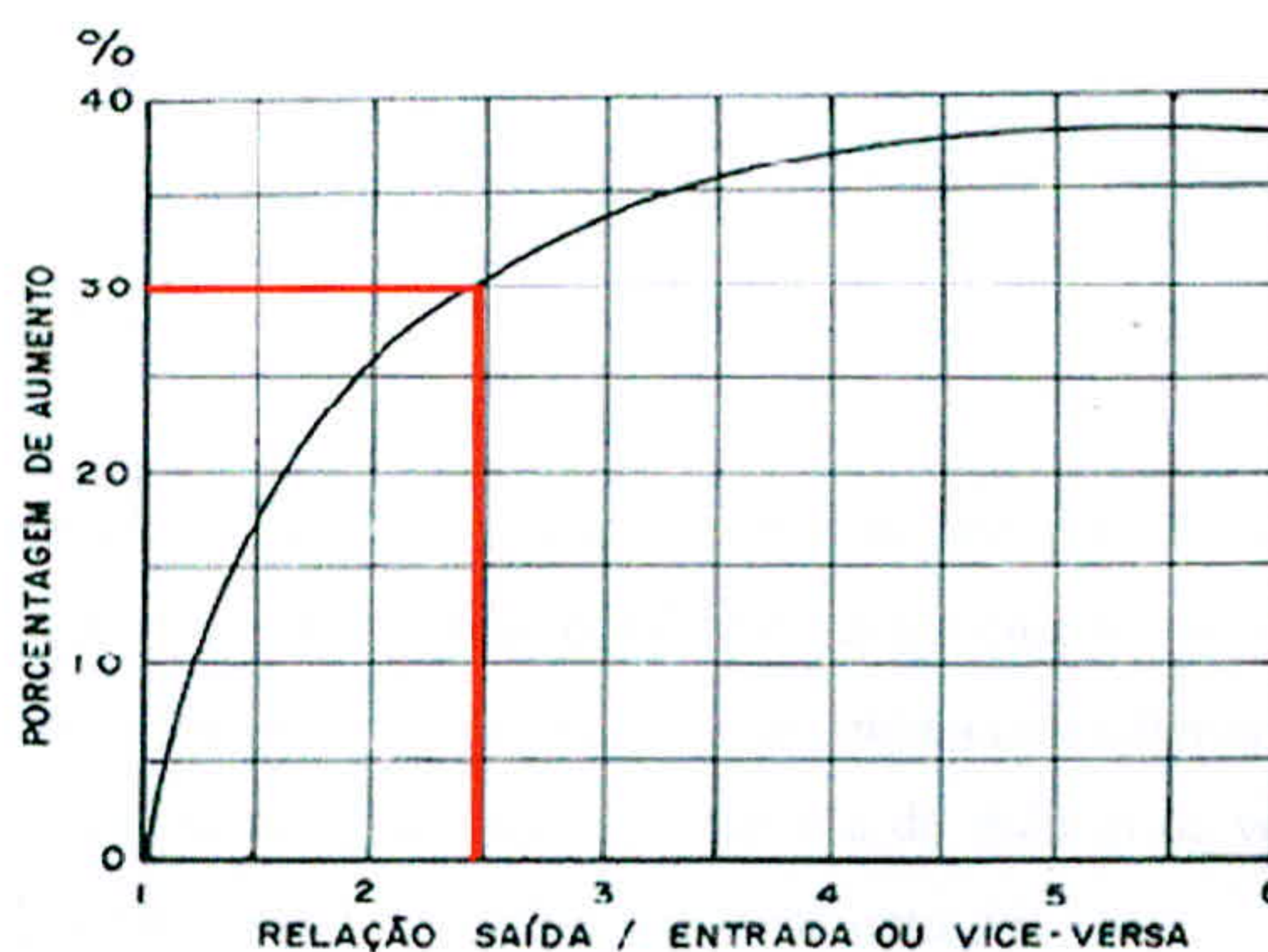
$$Q_t = 9,4 \times 104,84 \times \sqrt{(1 \times (3,6))}$$

$$Q_t = 1869,84 \text{ ft}^3 \times \text{min}^{-1}$$

Fazendo a correção:

$$\text{A maior/ área menor} = 260,92/104,84 = 2,48$$

Para a relação 2,48 encontra no gráfico 01 o fator de correção de 30%.



$$Q_t = 1869,84 \text{ ft}^3 \times \text{min}^{-1} \times 1,3$$

$$Q_t = 2430,79 \text{ ft}^3 \times \text{min}^{-1}$$

A vazão de ar devido ao efeito chaminé é inferior a vazão necessária conforme o número de renovações de ar necessário dada pela equação 01.

5.5. Cálculo da vazão devido à ação combinada do vento com o efeito chaminé

Com os valores individuais de Q_t e Q_v já calculados, prosseguiremos com o cálculo devido à ação combinada destes.

- I. vazão devido à ação do vento: $Q_v = 44714,67 \text{ ft}^3 \times \text{min}^{-1}$ (já calculado),
- II. vazão devido ao efeito chaminé: $Q_t = 2430,79 \text{ ft}^3 \times \text{min}^{-1}$ (já calculado),
- III. correção devido à ação combinada dos dois processos (gráfico 02),

- IV. cálculo da vazão total: $Q_T = Q_c + Q_v \rightarrow Q_T = (2430,79 + 44714,67) \text{ft}^3 \times \text{min}^{-1}$
 $= 47145,46 \text{ft}^3 \times \text{min}^{-1}$,
- V. cálculo da relação $\frac{Q_c}{Q_T}$
- $$\frac{Q_c}{Q_T} = \frac{2430,67 \text{ft}^3 \times \text{min}^{-1}}{47145,46 \text{ft}^3 \times \text{min}^{-1}} = 0,05$$
- VI. entrando com o valor da relação Q_c/Q_T no gráfico 02, encontramos o valor de α pelo qual deverá ser multiplicado o valor de Q_c para encontrarmos a vazão total real Q_{TR} ,
- VII. . Do gráfico 02 para Q_c/Q_T igual a 0,05 (05%), encontramos um fator α igual a 7, logo temos:

$$Q_{TR} = Q_c \times 7$$

$$Q_{TR} = 2430,67 \text{ft}^3 \times \text{min}^{-1} \times 7$$

$$Q_{TR} = 17014,69 \text{ft}^3 \times \text{min}^{-1}$$

Com o resultado dos cálculos acima, verifica se que a vazão total real (soma das vazões devido ao vento e ao efeito chaminé) é insuficiente quando comparada com a vazão indicada pelo número de renovações de ar necessárias, obtida pelo cálculo da equação 01.

O fator que mais contribuíram para ineficiência do sistema de ventilação natural do galpão devido à ação do vento foi o subdimensionamento das aberturas de entrada e saída para ar. A ausência de aberturas no teto (lanternins, clarabóias, etc.) bem como a altura das aberturas para a saída do ar quente muito abaixo do teto, contribuíram negativamente na eficiência da ventilação natural devido à diferença de temperatura.

Os argumentos acima podem ser comprovados teoricamente, pois, se igualarmos a área de abertura de saída para o ar com a área de entrada para o ar. Se elevarmos as aberturas de saída para o ar de 01 pé (0,3048 metro) para 3,28 pés (1 metro) acima das aberturas de entrada, a vazão total real obtida atenderá a vazão determinada com base no número de renovações necessárias obtidas pelo cálculo da equação 01.

6. CONCLUSÃO

Concluiu-se que a eficiência de um sistema de ventilação natural depende das características construtivas do edifício e das condições climáticas locais. Como estes fatores variam de uma construção para a outra, o uso da ventilação natural deve ser bem analisado para cada aplicação. Bem dimensionada, a ventilação natural pode ser uma importante opção para atender as necessidades quanto ao conforto térmico a um baixo custo. Pois, neste método de ventilação gasta apenas com a implantação, não há consumo de energia.

Após os cálculos concluiu-se que o sistema de ventilação natural do galpão não atende às necessidades dos funcionários quanto ao conforto térmico. Verificou-se que dois fatores contribuíram para esta ineficiência. Um fator é que as áreas de entrada e saídas para o ar estão subdimensionadas em relação à área total do galpão, além de apresentarem diferença de tamanho entre elas, afetando o fluxo do ar devido à força do vento. O outro fator é que a distância vertical entre as aberturas de entrada e as aberturas de saída é praticamente nula e interfere na ventilação natural por diferença de temperatura.

Concluiu-se que para atender as exigências de ventilação basta apenas algumas alterações físicas no galpão, como: igualar as áreas das aberturas das duas faces do galpão, usando a maior área como referência. Este procedimento melhora o desempenho dos dois mecanismos de ventilação (ação do vento e efeito chaminé); elevar as aberturas de saída do ar em 01 metro (3,28 pés) acima das aberturas de entrada. Esta modificação melhora a ventilação natural através do efeito chaminé.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Manuel da Silva Valente, et al- Ventilação Industrial. Itajubá

FUNDACENTRO, MINISTÉRIO DO TRABALHO, Curso de Engenharia de Segurança do Trabalho- São Paulo, 1979. ISBN 62-331-823-042/62-004-4-042

MACINTYRE, Archibald Joseph. Ventilação Industrial e Controle da Poluição- Rio de Janeiro, 1990. ISBN 85-216-112-34

MESQUITA, Armando Luís de Sousa, et al. Engenharia de Ventilação Industrial-São Paulo, 1977. ISBN 628-53/697-92

SOUZA, Gleicione Aparecida Dias Bagne, et al – Manual de normalização: Trabalhos científicos – Varginha – MG, UNIS, 2010.

Ciência da Construção. Disponível em: <<http://www.ecopore.com.br/ciencia-da-construcao>> Acessado em 01/11/2010. 17h14min

Instituto Nacional de Pesquisas Aeroespacial. Disponível em: <<http://www.inpe.br>> Acessado em 24/10/2010. 17h20min

Luftmax Exaustores Eólicos. Disponível em: <<http://www.luftmax.com.br/empresa.php>> acessado em 01/11/2010. 17h14min

Ventcenter Exaustores Industriais. Disponível em: <<http://www.vetcenter.com.br/empresa.html>> Acessado em 07/11/2010. 16h22min

Ventilação natural em galpões: o uso de lanternins nas coberturas. Disponível em: <<http://www.scielo.br/scielo>>>. Acessado em 14/11/2010. 11h45min