



## Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários Parte 2: Parâmetros de conforto térmico

*Central and unitary air conditioning systems Part 2: Thermal comfort*

### Prefácio

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é o Foro Nacional de Normalização. As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (ABNT/CB), dos Organismos de Normalização Setorial (ABNT/ONS) e das Comissões de Estudo Especiais (ABNT/CEE), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas por representantes dos setores envolvidos, delas fazendo parte: produtores, consumidores e neutros (universidades, laboratórios e outros).

Os Documentos Técnicos ABNT são elaborados conforme as regras da Diretiva ABNT, Parte 2.

O Escopo desta Norma Brasileira em inglês é o seguinte:

### Scope

*The purpose of this standard is to specify the combinations of indoor thermal environmental and personal factors that results in acceptable thermal environmental conditions to a majority of the occupants in a particular environment.*

*The environmental variables mentioned in this part of standard are temperature, thermal radiation, humidity and air speed; the personal variables are those of activity and clothing.*

*It is intended that all the criteria in this part of standard be applied together, since the indoor thermal comfort is complex and affected by the interaction of all the variables that are addressed herein.*

*This part of standard specify the indoor thermal conditions acceptable for healthy adults at atmospheric pressure equivalent to altitudes up to 3000 m in indoors spaces designed to human occupancy considering time periods greater than 15 minutes.*

*This part of standard does not address nonthermal factors as air quality, acoustics, illumination or other physical, chemical or biological criteria that may affect comfort or health. For specification of basic criteria and minimum requirements to address acceptable air quality, see ABNT NBR 16401 – 3: Indoor Air Quality.*

*This part of standard shall not be used to override any safety, health or critical process requirements.*

### Introdução

Conforto térmico pode ser definido como o estado de espírito que expressa satisfação com o ambiente térmico e a temperatura do corpo como um todo. Como existem grandes variações fisiológicas e psicológicas de pessoa para pessoa, é muito difícil satisfazer a todos em um mesmo ambiente. Por esse motivo, pode-se afirmar que as condições ambientais que resultam em conforto térmico não são as mesmas para todos. Existe hoje um grande número de dados medidos em laboratório e em campo que embasam estatisticamente a definição das condições nas quais uma percentagem mínima de ocupantes se sentirá termicamente confortável. Tais condições são apresentadas nesta parte da norma.

**Variáveis de conforto térmico:** São 6 as principais variáveis que devem ser consideradas na definição de conforto térmico. Existem outras variáveis que afetam o conforto em algumas circunstâncias, mas as principais abordadas por esta parte da Norma são:

1. Taxa metabólica;
2. Isolamento da vestimenta;
3. Temperatura do ar;
4. Temperatura radiante média;
5. Umidade do ar;
6. Velocidade do ar.

As duas primeiras são variáveis relativas aos ocupantes, e as demais ao ambiente térmico.

**Variação entre ocupantes:** Para cada ocupante devem ser atribuídos uma atividade metabólica (expressa em “met” ou  $W/m^2$ - Anexo A), e um valor de vestimenta determinado por meio do índice de isolamento de vestimentas (expresso em “clo” ou  $m^2 K/W$ - Anexo B). Quando existirem diferenças substanciais entre a atividade metabólica e o isolamento da vestimenta para ocupantes em um mesmo espaço, estas diferenças devem ser consideradas conforme descrito nos Anexos A e B. Em alguns casos, não será possível atingir condições térmicas aceitáveis para todos os ocupantes devido às diferenças individuais, incluindo a atividade e vestimenta. Caso as condições não sejam aceitáveis para um conjunto de ocupantes em um mesmo espaço, estes devem ser pontualmente identificados, juntos com as possíveis causas de desconforto localizado.

**Variação temporal:** é possível que as seis variáveis de conforto térmico se alterem com o tempo. Esta parte da Norma é aplicável ao conforto térmico em estado estacionário (com algumas variações limitadas de temperatura no tempo na Seção 5.2.5).

**Desconforto térmico local:** Ambientes não uniformes são analisados na Seção 5.2.4, e estas não uniformidades podem afetar a percepção de conforto térmico.

**Variação no nível de atividade:** A maioria dos estudos de conforto térmico foi realizada em condições típicas de trabalho em escritórios, onde se realizavam atividades sedentárias. Esta parte da norma é apropriada para estas condições, podendo também ser utilizada para atividades moderadamente maiores. Esta parte da norma não se aplica a pessoas dormindo. Os estudos disponíveis não contém informações a respeito das condições de conforto térmico de crianças, deficientes físicos, doentes ou idosos.

**Ambientes condicionados naturalmente:** As condições de conforto térmico em espaços que operam por meio da ventilação natural não são obrigatoriamente as mesmas requeridas em ambientes condicionados artificialmente. Estudos de campo mostraram que nestes ambientes, onde os ocupantes têm o controle

sobre a abertura das janelas, a noção subjetiva de conforto térmico é diferente devido às diferenças nas experiências térmicas e disponibilidade de controle; assim, tais ambientes resultam em alterações nas expectativas e limites de aceitabilidade térmica dos ocupantes, e possuem um método alternativo para avaliação disponível na seção 5.3.

Esta parte da Norma está dividida em oito seções principais e seis Anexos. Nas Seções 1, 2, 3 e 4 são apresentados os textos introdutórios, onde são descritos o escopo, as referências normativas, as definições e os requisitos gerais para aplicação dos critérios normativos. Na Seção 5 são determinadas as condições requeridas de conforto térmico em diferentes tipos de espaços, sendo apresentados dois métodos de avaliação: 5.3 Método geral para a determinação das condições térmicas aceitáveis em ambientes ocupados; e 5.4 Método para determinação das condições térmicas aceitáveis em ambientes ventilados naturalmente e controlados pelos usuários.

Na Seção 6 são descritas as formas de avaliar conforto térmico por meio de medições, como são medidas e calculadas as variáveis ambientais envolvidas e os índices de conforto térmico utilizados. As Seções 7 e 8 estão dedicadas à comprovação de atendimento à Norma na fase de projeto e de edificações existentes. São apresentados ainda, ao final do documento, quatro Anexos Normativos - A, B e C e D -e quatro Anexos Informativos - E, F e G e H.

## 1 Escopo

O objetivo desta parte da norma é especificar as combinações de variáveis ambientais e pessoais que produzam condições térmicas aceitáveis para a maioria dos ocupantes em um determinado ambiente.

**1.1** As variáveis térmicas ambientais mencionadas nesta parte da norma são: temperatura do ar, temperatura radiante média, umidade do ar e velocidade do ar; e as variáveis pessoais são: atividade metabólica e isolamento térmico da roupa.

**1.2** Espera-se que os critérios definidos nesta parte da norma sejam aplicados de uma forma integrada, já que o conforto térmico no ambiente interno é complexo, e é afetado por todas as variáveis aqui relacionadas.

**1.3** Esta parte da norma especifica condições térmicas aceitáveis para adultos saudáveis expostos à pressão atmosférica equivalente à altitudes de até 3.000 m, e em ambientes internos projetados para ocupação humana considerando períodos superiores a 15 minutos.

**1.4** Esta parte da norma não cobre fatores não térmicos como a qualidade do ar interno, acústica, iluminação ou outros parâmetros físicos, químicos ou biológicos que possam afetar o conforto e a saúde. Para especificação de parâmetros básicos e requisitos mínimos visando a obtenção de qualidade aceitável de ar interno para conforto, ver ABNT NBR 16401- 3; Qualidade do ar interior.

**1.5** Esta parte da norma não deve ser utilizada para substituir quaisquer requisitos de segurança, saúde ou processo crítico.

## 2 Referências normativas

Os documentos relacionados a seguir são indispensáveis à aplicação deste documento. Para referências datadas, aplicam-se somente as edições citadas. Para referências não datadas, aplicam-se as edições mais recentes do referido documento (incluindo emendas).

ABNT NBR 16401-1, *Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários Parte 1: Projeto das*



*instalações*

ABNT NBR 16401-3, *Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários Parte 3: Qualidade do ar interior*

ISO 7726: 1998, *Ergonomics of the thermal environment—Instruments for measuring physical quantities*

ISO 7730: 2005, *Ergonomics of the Thermal Environment—Analytical Determination and Interpretation of Thermal Comfort using Calculation of the PMV and PPD Indices and Local Thermal Comfort Criteria*

ASHRAE 2009, *Handbook—Fundamentals*

ASHRAE 2013, *Handbook—Fundamentals*

ASHRAE Standard 55-2017, *Thermal environmental conditions for human occupancy*

ASHRAE Standard 70-2006, *Method of Testing for Rating the Performance of Air Outlets and Inlets*

ASHRAE Standard 113-2009, *Method of Testing for Room Air Diffusion*

FOUNTAIN, M., HUIZENGA, C. 1995. *A thermal sensation model for use by the engineering profession*. Final Report, ASHRAE RP-781. Prepared by Environmental Analytics, Piedmont, CA. for ASHRAE, Atlanta, GA.

### **3 Termos e definições**

**3.1 Para os efeitos deste documento, aplicam-se os seguintes termos e definições.**

#### **3.1.1**

##### **aberturas controladas pelos ocupantes**

aberturas como as janelas, que são controladas pelos ocupantes do espaço. Estas aberturas podem ser controladas manualmente ou via sistema de automação sob o controle dos usuários

#### **3.1.2**

##### **ambientes naturalmente condicionados, controlados pelos ocupantes**

ambientes onde as condições térmicas são reguladas principalmente por meio da operação (abertura/fechamento) de janelas e movimentação passiva do ar

#### **3.1.3**

##### **ambiente térmico**

variáveis locais específicas ou aspectos de um ambiente térmico que afetam as perdas de calor dos ocupantes

#### **3.1.4**

##### **ambiente térmico aceitável**

ambiente térmico onde a maioria das pessoas (percentual igual ou superior a 80%) o classifique como termicamente aceitável

#### **3.1.5**

##### **assimetria na temperatura radiante**

a assimetria da temperatura radiante é dada pela diferença entre as temperaturas radiantes planas ( $t_{pr}$ ) de duas faces opostas em consideração a um pequeno plano localizado entre elas. A assimetria na

temperatura radiante é determinada no nível da cintura: a 0,60 m do chão para pessoas sentadas; e a 1,1 m do chão para pessoas em pé

### 3.1.6

#### **clo**

unidade usada para expressar o isolamento térmico de um item de roupa ou de uma combinação de itens, onde 1 clo = 0,155 m<sup>2</sup> K/W

### 3.1.7

#### **condições externas de projeto**

condições ambientais externas representadas pelos dados climáticos utilizados no projeto de sistemas de condicionamento (refrigeração ou aquecimento) que mantêm as condições térmicas internas dentro das especificadas. O projeto e o dimensionamento dos sistemas devem ser baseados nas condições climáticas do local estipuladas na Seção 5, e as condições termoigrométricas de projeto estipuladas no Seção 5.2 da ABNT NBR 16401 – 1: Projetos das instalações

### 3.1.8

#### **constante de tempo**

tempo para que um instrumento de medição alcance 63% do valor real final após uma mudança

### 3.1.9

#### **corrente de ar (*draft*)**

resfriamento local indesejado no corpo causado pela velocidade do ar resultando em sensação de frio

### 3.1.10

#### **dados climáticos**

dados climáticos horários específicos para um local incluindo temperatura do ar, velocidade do vento, radiação solar e umidade. Em cidades ou regiões urbanas com diversos dados de entrada, ou locais onde os dados climáticos não estão disponíveis, o projetista deve selecionar os dados climáticos que melhor representem o clima local onde a edificação está inserida

### 3.1.11

#### **desconforto térmico local**

desconforto causado por condições específicas locais como: gradiente vertical de temperatura entre o tornozelo e a cabeça, campo radiante assimétrico, corrente de ar localizada (*draft*) ou contato com piso quente ou frio

### 3.1.12

#### **edificações híbridas**

edificações que operam de forma híbrida combinam a ventilação natural proveniente da abertura de janelas (manualmente ou de forma automatizada) ao condicionamento mecânico, incluindo os sistemas condicionadores de ar e/ou os sistemas de distribuição de ar

### 3.1.13

#### **escala sétima de conforto térmico**

sensação térmica expressa nas categorias: muito frio, frio, levemente frio, neutro, levemente quente, quente e muito quente

### 3.1.14

#### **excedência de horas de desconforto (horas de desconforto)**

número de horas ocupadas em um período de tempo definido, quando as condições ambientais em um espaço estão fora dos limites estipulados pela zona de conforto. Unidade: horas

### 3.1.15

#### **fator de sombreamento das janelas**

percentual da área de um dispositivo de sombreamento desobstruído (brises, persianas ou material cego). Para tecidos tonalizados, o fator de abertura deve ser relativo à abertura do tecido.

### 3.1.16

#### **fator solar (FS)**

fator que representa o percentual de calor da irradiação solar transmitido para o ambiente através de uma abertura. O fator solar é o coeficiente de ganhos de calor solar, incluindo a fração transmitida diretamente e a absorvida por condução.

### 3.1.17

#### **isolamento térmico da vestimenta ( $I_{cl}$ )**

resistência térmica à troca de calor sensível apresentada por uma vestimenta, expressa em unidades clo ou em resistência térmica ( $m^2.K/W$ )

Nota: A definição de isolamento térmico da vestimenta está relacionada com a transferência de calor do corpo como um todo e, portanto, inclui as partes não cobertas como as mãos e a cabeça.

### 3.1.18

#### **isolamento térmico de peças de uma vestimenta ( $I_{clu}$ )**

resistência à troca de calor sensível causada pela adição de uma peça de roupa no corpo nu, expressa em unidades clo, ou em resistência térmica ( $m^2.K/W$ )

### 3.1.19

#### **temperatura média predominante do ar externo ( $t_{mpa(ext)}$ )**

quando usada como variável de entrada na Figura 5 do modelo adaptativo (subitem 5.4), esta temperatura tem como base a média ponderada exponencialmente das temperaturas dos sete últimos dias

### 3.1.20

#### **met**

unidade usada para descrever a energia gerada dentro do corpo humano a partir da atividade metabólica. Cada unidade de met corresponde a  $58,2 W/m^2$ , que é igual a energia produzida por unidade de superfície de uma pessoa média sentada em repouso

Nota: A área superficial de uma pessoa média é de  $1,8 m^2$

### 3.1.21

#### **modelo adaptativo**

modelo que relaciona as temperaturas internas aceitáveis com as temperaturas externas

Nota: O modelo adaptativo é o outro nome dado para o método descrito na Seção 5.4: Método para a determinação das condições térmicas aceitáveis em ambiente naturalmente condicionados controlados pelos usuários.

### 3.1.22

#### **mudança de setpoint**

mudança progressiva de uma variável, tanto por meio de projeto ou como resultado de um intervalo de tempo entre medições; tipicamente, uma mudança no controle de temperatura

### 3.1.23

#### **neutralidade térmica**

índice térmico interno que corresponde a um voto neutro na escala de sensação térmica

### 3.1.24

#### **ocupante representativo**

indivíduo real ou composto pela média de vários indivíduos que representa a população ocupante de um espaço por 15 minutos ou mais

### 3.1.25

#### **percentagem de insatisfeitos (PDI)(percentage of dissatisfied)**

percentagem prevista de pessoas insatisfeitas devido ao desconforto térmico local

### 3.1.26

#### **percentagem predita de insatisfeitos (PPD)(predicted percentage of dissatisfied)**

índice determinado a partir do PMV que estabelece a percentagem prevista de pessoas insatisfeitas

### 3.1.27

#### **pressão parcial de vapor (pa)**

pressão que o vapor d'água exerceria se ocupasse o mesmo volume ocupado pelo ar úmido a mesma temperatura

### 3.1.28

#### **razão de umidade do ar**

razão entre a massa de água existente no ar e a massa de ar seco

### 3.1.29

#### **Irradiação solar direta normal ( $I_{dir}$ )**

irradiação solar proveniente da direção do sol, expressa em  $W/m^2$ . Não inclui a irradiação solar refletida ou a difusa.

### 3.1.30

#### **sensação térmica**

expressão subjetiva consciente da percepção térmica de um ocupante em relação a um ambiente, expressa na escala sétima de conforto térmico

### 3.1.31

#### **taxa metabólica (M)**

taxa de transformação da energia química em calor e trabalho mecânico a partir da atividade metabólica dentro do organismo por unidade de superfície de pele de uma pessoa com estatura média sentada em descanso, expressa em unidades met ou  $W/m^2$

### 3.1.32

#### **temperatura de ponto de orvalho ( $t_{dp}$ )**

temperatura na qual o vapor de água em um volume de ar úmido, a uma pressão barométrica constante, irá condensar na forma de água líquida

### 3.1.33

#### **temperatura de bulbo úmido ( $t_{bu}$ )**

temperatura de bulbo úmido termodinâmica, indicada por um termômetro cujo bulbo está envolto por um pavio molhado, onde aplica-se uma velocidade do ar entre 4 e 5 m/s

### 3.1.34

#### **temperatura do ar ( $t_a$ )**

temperatura média do ar ao redor do ocupante

### 3.1.35

#### **temperatura do piso ( $t_f$ )**

temperatura da superfície do piso em contato com os sapatos de ocupantes representativos

### 3.1.36

#### **temperatura média diária externa ( $t_{md(ext)}$ )**

média aritmética de um período de 24 horas para ser utilizada na Seção 5.: cálculo da média predominante da temperatura do ar externo

### 3.1.37

#### **temperatura efetiva padrão (SET)**

valor de temperatura em um ambiente uniforme imaginário, onde a taxa de umidade relativa é de 50%, a velocidade do ar inferior a 0,1m/s, e a temperatura média radiante igual à temperatura do ar; é também assumido que nestas condições, um ocupante imaginário perde a mesma quantidade de calor que em um ambiente real ao desenvolver uma atividade metabólica correspondente a 1,0 met, com vestimenta de 0,6 clo

### 3.1.38

#### **temperatura radiante média ( $t_r$ )**

temperatura uniforme de um ambiente imaginário, no qual a transferência de calor por radiação do corpo humano é igual à transferência de calor por radiação em um ambiente real não uniforme

### 3.1.39

#### **temperatura radiante média de ondas curtas ( $t_{rsw}$ )**

temperatura radiante proveniente da radiação solar direta e difusa de onda curta expressa como um ajuste na temperatura radiante média de ondas longas utilizando o procedimento de cálculo apresentado no Anexo D desta parte da norma

### 3.1.40

#### **temperatura radiante média de ondas longas ( $t_{rlw}$ )**

temperatura radiante de radiação de onda longa proveniente de superfícies interiores expressa como uma média espacial da temperatura das superfícies que circundam o ocupante, ponderadas pelos seus fatores de visão em relação ao ocupante (ver 2009 ASHRAE Handbook - Fundamentals 1, Capítulo 9)

### 3.1.41

#### **temperatura radiante plana ( $t_{pr}$ )**

temperatura uniforme de um ambiente imaginário, onde a radiação sobre um lado de um pequeno elemento plano é igual à de um ambiente real não uniforme. A temperatura radiante plana descreve a radiação oriunda de uma direção

### 3.1.42

#### **temperatura operativa ( $t_o$ )**

temperatura uniforme das superfícies de um ambiente imaginário no qual o ocupante trocava a mesma

quantidade de calor por radiação e convecção que no ambiente real não uniforme

### 3.1.43

#### **transmitância solar total ( $T_{sol}$ )**

transmitância da radiação solar total através de uma abertura de janela, incluindo vidros e persianas internas ou tecidos tonalizados (consulte o Apêndice Normativo D para métodos de cálculo aceitáveis.)

### 3.1.44

#### **umidade**

termo genérico para referenciar o teor de umidade no ar. É expressa em termos de diversas variáveis termodinâmicas, incluindo a pressão de vapor d'água, temperatura de ponto de orvalho, razão de umidade, e umidade relativa. É a média espacial e temporária determinada da mesma maneira que a temperatura do ar.

Nota: Qualquer uma dessas variáveis de umidade deve ser usada em conjunto com a temperatura do bulbo seco para descrever uma condição de umidade específica.

### 3.1.45

#### **velocidade do ar ( $v_{ar}$ )**

movimento do ar em um ponto definido; expresso em m/s, desconsiderando sua direção

### 3.1.46

#### **velocidade do ar máxima**

maior valor de velocidade do ar nas três alturas típicas de medição

### 3.1.47

#### **velocidade média do ar ( $v_a$ )**

é a velocidade média do ar (temporal e local) ao redor de um ocupante representativo. A média espacial deve considerar 3 alturas diferentes, assim como na temperatura média do ar. A velocidade média do ar deve ser calculada considerando um período não inferior a 1 min., nem superior a 3 minutos. Variações que ocorram em um período maior de tempo devem ser tratadas como valores diferentes de velocidade do ar

### 3.1.48

#### **voto médio estimado predito (PMV)(*predicted mean vote*)**

índice que prevê o valor médio da sensação térmica de um grande número de pessoas na escala sétima de sensação térmica

### 3.1.49

#### **zona de conforto**

faixa de variação bidimensional (geralmente representada sobre a carta psicrométrica) da temperatura operativa e umidade relativa do ar na qual se prevê condições de aceitabilidade térmica para valores particulares de velocidade do ar, taxa metabólica e isolamento de vestimenta

### 3.1.50

#### **zona ocupada**

zona normalmente ocupada por pessoas no ambiente, geralmente considerada entre o piso e 1,8 m de altura, e a mais de 1,0 m de distância das paredes e janelas externas ou equipamentos fixos de condicionamento ambiental, e 0,3 m de paredes internas

### 3.2 Símbolos e abreviaturas

<b>Termo (Term)</b>	<b>Símbolo/Abreviatura (Symbol/Abbreviation)</b>	<b>Unidade (Unit)</b>
Irradiação solar direta normal (direct-beam solar radiation)	$I_{dir}$	W/m <sup>2</sup>
Horas excedidas / Horas de desconforto (Exceedance Hours / Discomfort Hours)	EH	horas (hours)
Isolamento térmico da vestimenta (Clothing insulation)	$I_{cl}$	m <sup>2</sup> .K/W ou clo
Isolamento térmico de peças de uma vestimenta (Partial clothing insulation)	$I_{clu}$	m <sup>2</sup> .K/W
Percentagem de insatisfeitos (Percentage of dissatisfied)	PPDL	%
Percentagem predita de insatisfeitos (Predicted percentage of dissatisfied)	PPD	%
Pressão parcial de vapor (Partial vapour pressure)	$P_a$	kPa
Taxa metabólica (Metabolic rate)	M	met ou W/m <sup>2</sup>
Temperatura de globo (Globe temperature)	$t_g$	°C
Temperatura de Ponto de Orvalho (Dew-point temperature)	$t_{dp}$	°C
Temperatura de bulbo úmido (Wet-bulb temperature)	$t_{bu}$	°C
Temperatura do Ar (Air temperature)	$t_a$	°C
Temperatura do piso (Floor temperature)	$t_f$	°C
Temperatura Efetiva Padrão (Standard Effective Temperature)	SET	°C
Temperatura Média Diária Externa (Mean daily outdoor air temperature)	$t_{md(ext)}$	°C
Temperatura Média Predominante do Ar Externo (Prevailing mean outdoor air temperature)	$t_{mpa(ext)}$	°C
Temperatura Operativa (Operative temperature)	$t_o$	°C

Temperatura radiante média ( <i>Mean radiant temperature</i> )	$t_r$	°C
Temperatura radiante média de ondas curtas ( <i>Short-wave mean radiant temperature</i> )	$t_{rsw}$	°C
Temperatura radiante média de ondas longas ( <i>Long-wave mean radiant temperature</i> )	$t_{rlw}$	°C
Temperatura radiante plana ( <i>Plane radiant temperature</i> )	$t_{pr}$	°C
Temperatura superficial ( <i>Superficial temperature</i> )	$t_s$	°C
Transmitância solar total ( <i>Solar total transmittance</i> )	$T_{sol}$	%
Umidade relativa do ar ( <i>Relative humidity</i> )	UR	%
Velocidade do ar ( <i>Air speed</i> )	$V_{ar}$	m/s
Velocidade média do ar (temporal e local) ao redor de um ocupante representativo	$V_a$	m/s
Voto médio estimado ( <i>Predicted mean vote</i> )	PMV	num.

## 4 Requisitos gerais

**4.1** A documentação das informações ligadas à aplicação desta parte da Norma deve ser estruturada de acordo com as Seções 7 e 8, podendo também ser utilizado o modelo de documentação para avaliação de conformidade apresentado no Anexo G.

**4.2** Todos os espaços nos quais a Norma está sendo aplicada, e também aqueles para os quais ela não será aplicada, devem ser identificados.

**4.3** Para cada tipo de espaço, pelo menos um ocupante representativo deve ser definido. Se algum conjunto de ocupantes for excluído da análise, estes ocupantes também deverão ser identificados.

**4.4** As condições do ambiente requeridas para conforto térmico são determinadas de acordo com a Seção 5 desta parte da Norma.

## 5 Condições requeridas de conforto térmico

### 5.1 Introdução

Esta seção deve ser usada para determinar as condições térmicas aceitáveis do ambiente para cada usuário representativo de cada espaço. A percentagem de pessoas que classificarão o ambiente como confortável deve ser identificada para cada ambiente. As seis variáveis a seguir devem ser determinadas para definir as condições aceitáveis de conforto térmico.

1. Taxa metabólica (met);
2. Isolamento da vestimenta (clo);
3. Temperatura do ar ( $t_a$ );
4. Temperatura radiante média ( $t_r$ );
5. Umidade do ar (UR);
6. Velocidade do ar ( $v_a$ ).

Primeiramente são apresentadas as condições gerais requeridas de conforto térmico (Seção 5). Os métodos relativos à determinação das características dos ocupantes (taxa metabólica e isolamento da vestimenta) estão descritos na seção 5.2. Demais detalhes sobre estas variáveis e tabelas para estimativa de valores se encontram nos Anexos A e B. Em seguida, são apresentados os métodos utilizados para definir as condições de aceitabilidade térmica em ambientes gerais ocupados (Seção 5.3), e de ambientes ocupados ventilados naturalmente (Seção 5.4).

Nota: Pessoas que acabaram de entrar em um ambiente que atende aos requisitos de conforto térmico desta parte da Norma podem não classificá-lo como “confortável”, se, eles tiverem experimentado diferentes condições ambientais imediatamente antes de trocarem de ambiente. O efeito da exposição prévia ou do metabolismo pode afetar a percepção de conforto em um intervalo de tempo aproximado de 1 hora.

## 5.2 Método para determinar as características dos ocupantes

### 5.2.1 Taxa metabólica

#### 5.2.1.1 Taxa metabólica de ocupantes representativos

Para cada ocupante representativo é necessário determinar um valor de taxa metabólica associada às suas atividades. As taxas metabólicas médias não devem ser usadas para representar múltiplos ocupantes cujas atividades diferem em mais de 0,1 met.

*Exemplo:* em uma configuração de escritório, podem existir ocupantes sentados e lendo (1,0 met), enquanto outros digitam (1,1 met); nesse caso, eles podem ser agrupados em um único valor representativo. No entanto, se o mesmo ocupante sentado estiver comparado a um ocupante sentado e arquivando (1,2 met), cada um deve ser considerado separadamente ao determinar as condições exigidas para o conforto térmico.

#### 5.2.1.2 Determinação da taxa metabólica

Para a determinação da taxa metabólica podem ser utilizados um dos métodos seguintes, ou a combinação entre mais de um deles:

- a) As taxas metabólicas para atividades típicas descritas na Tabela A.1 (Anexo A) devem ser utilizadas para descrever ocupantes representativos. Quando um intervalo é determinado, deve-se selecionar um único valor desse intervalo com base nas características predominantes desta atividade. Se o tipo de atividade não estiver listado na Tabela A.1, deve-se optar pelo tipo de atividade mais semelhante;
- b) Interpolação entre os valores dados na Tabela A.1 ou extrapolação destes;
- c) Métodos de estimativa e/ou medição descritos no ASHRAE *Handbook - Fundamentals 1*, Capítulo 9 de 2009;



d) Outros métodos de engenharia ou fisiológicos aprovados.

#### 5.2.1.3 Média ponderada em um intervalo de tempo

A média ponderada deve ser utilizada para aqueles indivíduos que possuem atividades que variam em um determinado intervalo de tempo. Essa média não deve ser aplicada quando uma atividade persiste por mais de uma hora. Nesse caso, dois mecanismos metabólicos distintos para a determinação das taxas devem ser utilizados. *Exemplo:* uma pessoa gasta 30 minutos em um intervalo de uma hora "levantando/embalando", 15 minutos "arquivando em pé", e 15 minutos "andando". Neste caso a média taxa metabólica deve ser de  $0,50 \times 2,1 + 0,25 \times 1,4 + 0,25 \times 1,7 = 1,8$ . Caso esta pessoa esteja "levantando/embalando" por mais de uma hora, e depois "arquivando em pé" por mais de uma hora, esta deve ser tratada como tendo duas taxas metabólicas distintas.

#### 5.2.1.4 Taxas metabólicas altas

Esta parte da norma não se aplica aos ocupantes cuja taxa metabólica excede 2,0 met.

### 5.2.2 Vestimenta

#### 5.2.2.1 Vestimenta de ocupantes representativos

O isolamento da roupa ( $I_{cl}$ ) em clo deve ser determinado para cada ocupante representativo do espaço. Valores médios não devem ser utilizados para representar vários ocupantes cujo isolamento da vestimenta difere em mais de 0,15 clo.

*Exceção:* em espaços onde os indivíduos são livres para ajustar sua vestimenta de forma a atender as diferenças individuais em resposta ao ambiente térmico, é permitido usar um único ocupante representativo com um valor de clo médio para representar os demais indivíduos.

#### 5.2.2.2 Determinação do isolamento da vestimenta

Para a determinação do isolamento da vestimenta podem ser utilizados os seguintes métodos:

- Utilizar um dos conjunto de vestimentas estimados pela Tabela B.1 (Anexo B) para cada um dos ocupantes representativos do ambiente/espaço analisado.
- Adicionando ou subtraindo as peças de vestimenta individuais conforme os valores apresentados na Tabela B.2 (Anexo B) considerando os valores já pré-determinados na Tabela B.1.
- Determinar um novo conjunto completo de roupas utilizando os valores individuais da Tabela B.2, somando-se todas as peças de roupa descritas ou observadas em cada indivíduo;
- É permitido, mas não necessário, ajustar qualquer um dos valores encontrados a partir dos métodos anteriores quando se consideram ocupantes sentados utilizando-se os valores da Tabela B.3 (Adição típica à vestimenta quando o usuário está sentado em uma cadeira).
- Para ocupantes em movimento, é permitido, mas não necessário, ajustar qualquer um dos valores encontrados a partir dos métodos anteriores utilizando a seguinte equação:

$$I_{cl, \text{ active}} = I_{cl} \times (0,6 + 0,4/M) \quad 1,2 \text{ met} < M < 2,0 \text{ met} \quad (1)$$

Onde

M é a taxa metabólica em met;

Icl é o isolamento da vestimenta sem movimento.

f) Interpolar valores ou extrapolar a partir das Tabelas B.1 e B.2;

g) Utilizar valores provenientes de medição realizada em manequins térmicos ou outros métodos de engenharia aprovados;

### 5.2.2.3 Limites de aplicabilidade

Esta parte da norma não se aplica aos ocupantes que:

a) Possuem isolamento da roupa superior a 1,5 clo;

b) Possuem isolamento da roupa altamente impermeável à umidade (por exemplo, roupas de proteção química ou equipamento de chuva);

c) Estão dormindo ou reclinados em contato com a cama; ou ainda podem utilizar cobertores ou roupas de cama.

## 5.3 Método geral para determinação das condições térmicas aceitáveis em espaços ocupados

Esta seção determina os requisitos de conforto térmico em todos os espaços ocupados que se enquadram no escopo desta parte da Norma. As condições térmicas aceitáveis devem ser determinadas a partir de um dos três métodos de acordo com a tabela 5.3.1, devendo ainda, atender aos requisitos estipulados pelos itens 5.3.4 e 5.3.5.

**Tabela 1 – Aplicabilidade dos métodos para a determinação das condições ambientais térmicas aceitáveis de espaços ocupados**

Velocidade do ar média (m/s)	Umidade	Met	Clo	Método de Conforto
< 0,20	< 0,012 kg.H <sub>2</sub> O/kg ar seco	1,0 – 1,3	0,5 – 1,0	Seção 5.3.1
< 0,20	Qualquer	1,0 – 2,0	0 – 1,5	Seção 5.3.2
> 0,20	Qualquer	1,0 – 2,0	0 – 1,5	Seção 5.3.3.

### 5.3.1 Método da zona de conforto térmico gráfica

#### 5.3.1.1 Limites de aplicabilidade

Este método deve ser utilizado apenas quando usuários representativos desenvolverem atividade metabólica entre 1,0 e 1,3 met, com isolamento térmico da vestimenta entre 0,5 e 1,0 clo, e em espaços com velocidade do ar inferior a 0,20 m/s. A maioria dos escritórios condicionados artificialmente está nesta situação.

A zona de conforto térmico gráfica está limitada a uma razão de umidade de 0.012 kg H<sub>2</sub>O/kg de ar seco, o que corresponde a 1,910 kPa em pressão padrão ou temperatura de orvalho de 16,8°C.

#### 5.3.1.2 Método

A Figura 1 especifica a zona de conforto para ambientes que cumprem o critério acima. Na figura, duas zonas são especificadas: uma para 0,5 clo (verão) de isolamento térmico de vestimentas e outra para 1,0 clo (inverno).

Esta zona prevê uma aceitabilidade de 80% pelos ocupantes. Tal valor tem como base 10% de usuários termicamente insatisfeitos (considerando o corpo como um todo e o índice PMV/PPD) mais um adicional de 10% de insatisfeitos devido ao desconforto localizado. O Anexo C apresenta uma lista dos valores de entrada para o cálculo das zonas destes gráficos e o algoritmo para o cálculo do PMV/PPD.

Zonas de conforto para valores intermediários de isolamento de vestimenta podem ser determinados por interpolação linear entre os limites de 0,5 e 1,0 clo, utilizando as Equações 2 e 3:

$$t_{\min, I_{cl}} = \left[ (I_{cl} - 0,5 \text{ clo}) \cdot t_{\min, 1,0 \text{ clo}} + (1,0 \text{ clo} - I_{cl}) \cdot t_{\min, 0,5 \text{ clo}} \right] / 0,5 \text{ clo} \quad (2)$$

$$t_{\max, I_{cl}} = \left[ (I_{cl} - 0,5 \text{ clo}) \cdot t_{\max, 1,0 \text{ clo}} + (1,0 \text{ clo} - I_{cl}) \cdot t_{\max, 0,5 \text{ clo}} \right] / 0,5 \text{ clo} \quad (3)$$

Onde

$t_{\max, I_{cl}}$  é limite superior da temperatura operativa ( $t_o$ ) para isolamento de vestimenta ( $I_{cl}$ );

$t_{\min, I_{cl}}$  é o limite inferior da temperatura operativa ( $t_o$ ) para isolamento de vestimenta ( $I_{cl}$ );

$I_{cl}$  é o isolamento térmico da vestimenta em questão (clo).

Velocidades do ar mais elevadas (acima de 0,20 m/s) modificam os limites superior e inferior de temperatura operativa, e, por esse motivo, requerem a utilização do método destinado aos espaços com altas velocidades do ar descrito na seção 5.3.3.

### 5.3.2 Método da zona analítica de conforto térmico

#### 5.3.2.1 Aplicabilidade

Este método pode ser aplicado em ambientes onde a atividade metabólica dos ocupantes está entre 1,0 e 2,0 met, e o isolamento térmico da vestimenta é inferior a 1,5 clo.

#### 5.3.2.2 Método

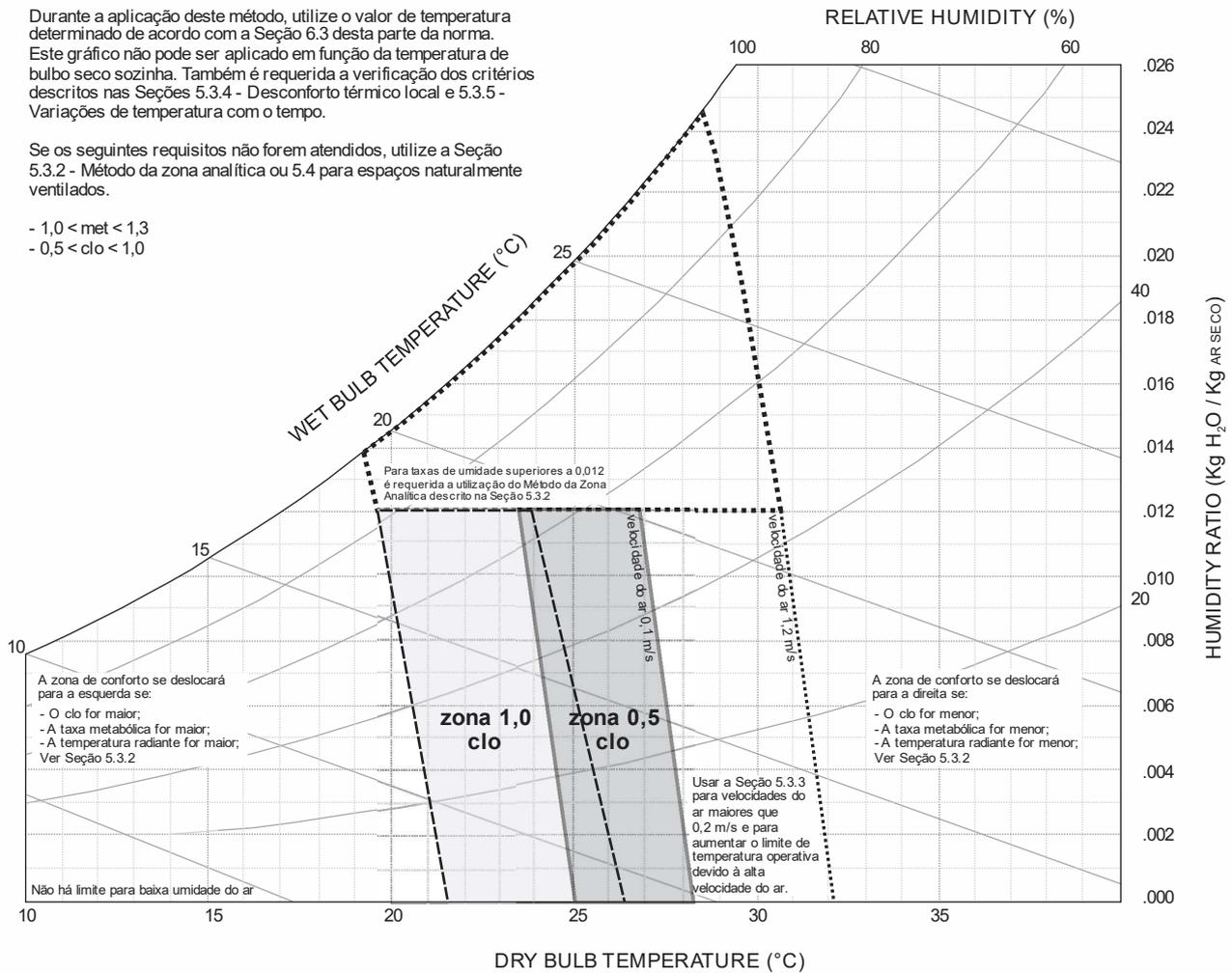
O código computacional descrito no Anexo Normativo C em conjunto com este item. A conformidade é alcançada se  $-0.5 < PMV < +0.5$ . Métodos alternativos são permitidos. No entanto, se for utilizado qualquer outro método, é de responsabilidade do usuário verificar e documentar se este produz os mesmos resultados descritos no Anexo C.

O modelo do voto médio predito (PMV) utiliza o princípio do balanço de calor para relacionar as seis variáveis principais de conforto térmico listadas na Seção 5, com base na resposta das pessoas considerando a escala abaixo descrita (Tabela 2). O índice de percentagem predita de insatisfeitos (PPD) está relacionado com o PMV como descrito na Figura 2 e se baseia no princípio de que as pessoas que votam "+3", "+2", "-2" e "-3" estão insatisfeitas. O PPD, de uma maneira simplificada, é simétrico ao redor do PMV neutro.

Durante a aplicação deste método, utilize o valor de temperatura determinado de acordo com a Seção 6.3 desta parte da norma. Este gráfico não pode ser aplicado em função da temperatura de bulbo seco sozinha. Também é requerida a verificação dos critérios descritos nas Seções 5.3.4 - Desconforto térmico local e 5.3.5 - Variações de temperatura com o tempo.

Se os seguintes requisitos não forem atendidos, utilize a Seção 5.3.2 - Método da zona analítica ou 5.4 para espaços naturalmente ventilados.

- $1,0 < met < 1,3$
- $0,5 < clo < 1,0$



**Figura 1 — Zona de conforto térmico gráfica com base no método analítico: variações aceitáveis de temperatura operativa e umidade para ambientes que cumprem o especificado na Seção 5.3.1 ( $1,0 \leq met \leq 1,3$ ;  $0,5 < clo < 1,0$ )**

**Tabela 2 – Escala sétima de conforto térmico**

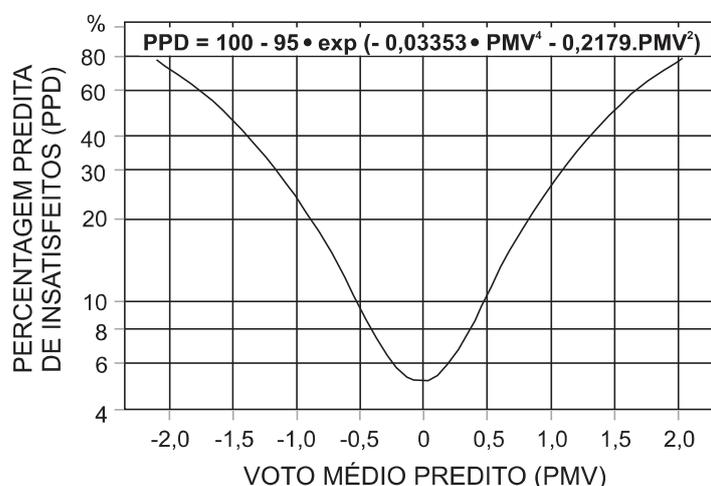
+ 3	muito quente
+ 2	Quente
+ 1	Levemente quente
0	Neutro
- 1	Levemente frio
- 2	Frio
- 3	Muito frio

A Tabela 1 define a faixa de valores recomendados para o PMV e PPD para aplicações típicas, sendo também a base do método analítico da Seção 5.3.1. A zona de conforto é definida pela combinação das

seis variáveis de conforto térmico para as quais o PMV está dentro dos limites apresentados na Tabela 1. O modelo do PMV deve ser calculado com as seis variáveis, e se o valor do PMV estiver dentro das variações recomendadas, as condições estarão dentro da zona de conforto.

O uso do modelo do PMV nesta parte da norma é limitado às velocidades do ar inferiores a 0,20 m/s. É aceitável usar velocidades acima deste valor (0,20 m/s) para ampliar o limite superior da zona de conforto em algumas circunstâncias. A Seção 5.3.3 descreve o método e os critérios requeridos para os ajustes necessários.

Existem vários programas computacionais para o cálculo do PMV/PPD. O código base do Anexo C deve ser utilizado na aplicação desta parte da Norma. Caso outra versão seja utilizada, deve-se verificar se a mesma produz resultados idênticos aos do Anexo C, documentando esta verificação.



**Figura 2 —Percentagem predita de insatisfeitos (PPD) em função do voto médio predito (PMV)**

**Tabela 3 - Ambiente termicamente aceitável para conforto térmico geral**

PPD	PMV
< 10	-0,5 < PMV < +0,5

### 5.3.2.3 Ajuste da Temperatura radiante média

Quando a irradiação solar direta normal incidir em um ocupante representativo, a temperatura radiante média ( $t_r$ ) pode considerar o valor de temperatura radiante média de ondas longas ( $t_{rlw}$ ) e a temperatura média radiante de ondas curtas ( $t_{rsw}$ ) utilizando um dos métodos alternativos descritos a seguir:

a) Cálculo completo da temperatura radiante média:

- Passo 1: determinar a temperatura radiante média de onda longa;
- Passo 2: determinar a temperatura radiante média de onda curta conforme o Anexo D.
- Passo 3: A temperatura média radiante ( $t_r$ ) será igual a  $t_{rlw} + t_{rsw}$ , determinadas conforme os passos 1 e 2.

b) A partir de uma temperatura radiante média ( $t_r$ ) que seja 2,8 °C acima da temperatura média do ar ( $t_a$ ), se, todas as condições abaixo descritas forem atendidas:

1. O espaço possui uma estratificação de temperatura do ar que atende aos requisitos da Seção 5.3.4.3;
2. O espaço não possui superfícies radiantes ativas;
3. As paredes opacas do envelope da edificação (paredes, piso, telhado) atendem ao requisito do fator de transmitância (U fator) da Norma ASHRAE/IES 90.1;
4. A temperatura externa do ar é inferior a 43 °C;
5. A abertura de janela no sentido vertical é inferior a 3,0 m de altura total;
6. Não há claraboias presentes;
7. O espaço cumpre todos os requisitos de uma única linha das Tabelas 4A, 4B, 4C ou 4D. Interpolação entre valores dentro de uma única tabela (Tabela 4A, 4B, 4C ou 4D) é permitido (e não entre tabelas). As propriedades de absorvância solar para tecidos de dispositivos de sombra (cortinas e persianas) utilizadas nas Tabelas 4A, 4B, 4C ou 4D devem utilizar a cor mais parecida da Tabela 4E, a menos que haja dados mais específicos fornecidos pelo fabricante.

As tabelas 4A a 4D mostram critérios que permitem o uso da temperatura radiante média de 2,8 °C maior que a temperatura média do ar para unidades de vidro de alto desempenho (Tabela 4A); unidades de vidro claras e de baixo desempenho (Tabela 4B); unidades de vidro colorido (Tabela 4C); e vidros eletroquímicos (Tabela 4D). Veja o Anexo informativo D, Seção D2 (e) para uma descrição de  $f_{bes}$ .

**Tabela 4A – Unidades de vidro com alto desempenho (low-e)**

Distância do ocupante representativo a partir da face interna da janela ou superfície de sombreamento (m)	Fração do corpo exposta ao sol (fbes) (%)	Transmitância solar do vidro ( $T_{sol}$ ), (%)	Coefficiente de ganho radiante indireto (FS- $T_{sol}$ ) (%)	Fator de abertura do dispositivo sombreamento (%)	Absortância solar do dispositivo sombreamento interno (%)
≥ 1,0	≤ 50	≤ 35	≤ 4,5	≤ 9	≤ 65
≥ 1,0	≤ 100	≤ 35	≤ 4,5	≤ 5	≤ 65

**Tabela 4B – Unidades de vidro claras e de baixo desempenho**

Distância do ocupante representativo a partir da face interna da janela ou superfície de sombreamento (m)	Fração do corpo exposta ao sol (fbes), (%)	Transmitância solar do vidro ( $T_{sol}$ ), (%)	Coefficiente de ganho radiante indireto (FS- $T_{sol}$ ) (%)	Fator de abertura do dispositivo sombreamento (%)	Absortância solar do dispositivo sombreamento interno (%)
≥ 3,0	≤ 50	≤ 83	≤ 10	≤ 1	≤ 25
≥ 4,0	≤ 50	≤ 83	≤ 10	≤ 1	≤ 65
≥ 3,4	≤ 100	≤ 83	≤ 10	≤ 1	≤ 25
≥ 4,4	≤ 100	≤ 83	≤ 10	≤ 1	≤ 65

**Tabela 4C – Unidades de vidro unidades de vidro colorido**

Distância do ocupante representativo a partir da face interna da janela ou superfície de sombreamento (m)	Fração do corpo exposta ao sol (fbes), (%)	Transmitância solar do vidro ( $T_{sol}$ ), (%)	Coefficiente de ganho radiante indireto (Fator Solar - $T_{sol}$ ) (%)	Fator de abertura do dispositivo sombreamento (%)	Absortância solar do dispositivo sombreamento interno (%)
≥ 1,0	≤ 50	≤ 10	≤ 20	≤ 8	≤ 25
≥ 1,0	≤ 50	≤ 10	≤ 20	≤ 1	≤ 65
≥ 1,2	≤ 100	≤ 10	≤ 20	≤ 1	≤ 25
≥ 1,5	≤ 100	≤ 10	≤ 20	≤ 1	≤ 65
≥ 2,8	≤ 50	≤ 15	≤ 8	Sem somb.	Sem somb.

**Tabela 4D – Unidades de vidro dinâmicos**

Distância do ocupante representativo a partir da face interna da janela ou superfície de sombreamento (m)	Fração do corpo exposta ao sol (fbes), (%)	Transmitância a solar do vidro (T <sub>sol</sub> ), (%)	Coefficiente de ganho radiante indireto (FS - T <sub>sol</sub> ) (%)	Fator de abertura do dispositivo sombreamento (%)	Absortância solar do dispositivo sombreamento interno (%)
≥ 1,0	≤ 50	≤ 0,5	≤ 10	N/A	Sem somb.
≥ 1,0	≤ 100	≤ 0,5	≤ 10	N/A	Sem somb.
≥ 1,5	≤ 50	≤ 3	≤ 10	N/A	Sem somb.
≥ 2,0	≤ 100	≤ 3	≤ 10	N/A	Sem somb.
≥ 2,3	≤ 50	≤ 6	≤ 10	N/A	Sem somb.
≥ 3,0	≤ 50	≤ 9	≤ 10	N/A	Sem somb.

**Tabela 4E – Absortância solar dos dispositivos de sombreamento interno com base na cor**

Absortância solar (%)	< 15	15 a 20	25 a 65	> 65
Cor	Branco	Claros (prata, amarelados, bege, pérola)	Escurecidos (peltre, fumaça, cinza, cinza claro)	Escuros (carvão, grafite, castanhos)

### 5.3.3 Método da zona gráfica para altas velocidades do ar

#### 5.3.3.1 Aplicabilidade

Este método permite o uso de velocidades do ar mais elevadas para aumentar a temperatura operativa máxima nos espaços descritos pelo escopo desta parte da norma onde os ocupantes desenvolvam atividades metabólicas que resultem em um valor médio dentro do intervalo de 1,0 e 2,0 met, isolamento da vestimenta entre 0 e 1,5 clo, e velocidade média do ar superior a 0,20 m/s.

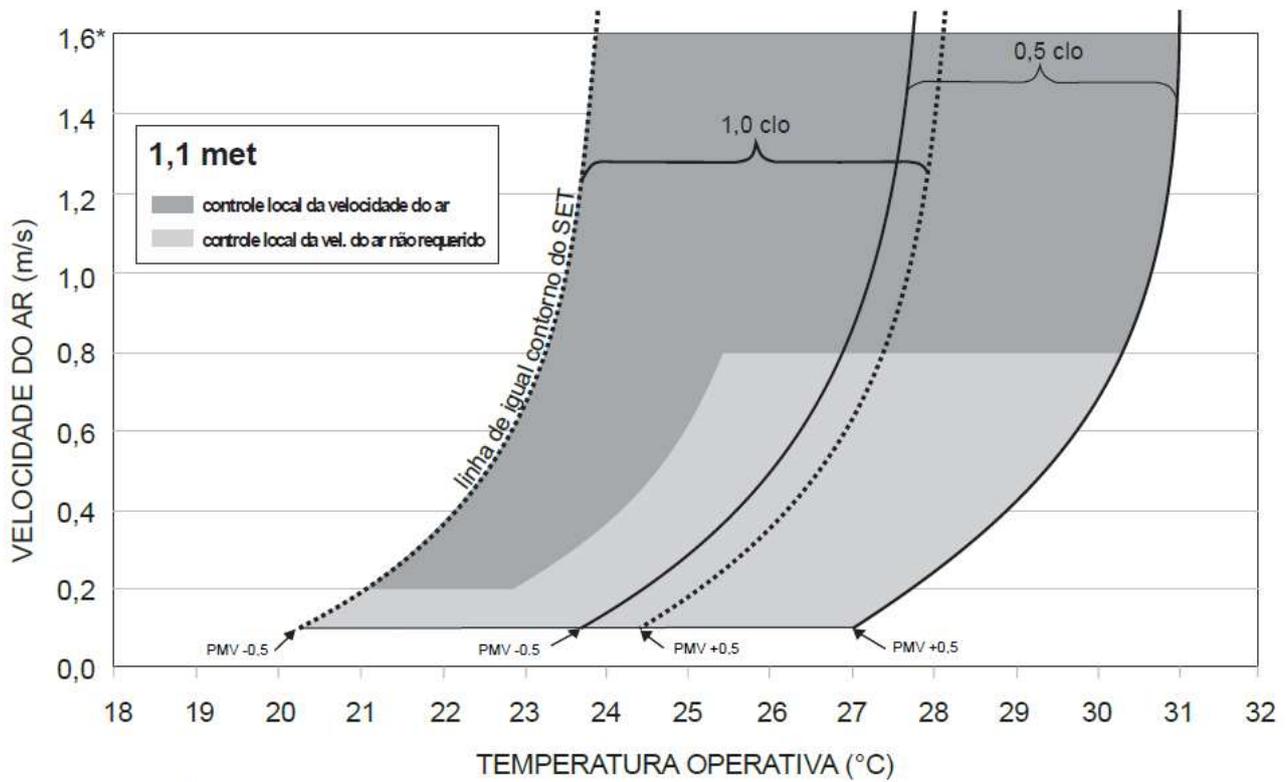
#### 5.3.3.2 Método

A Figura 3 representa dois casos particulares de igual perda de calor pela pele criado pelo modelo SET, que deve ser utilizada como método para o cumprimento das condições especificadas neste item (ver Anexo D). O modelo de Temperatura Efetiva Padrão (SET) trata de um índice que resume um valor de temperatura de equilíbrio, e se adapta melhor ao conceito de resfriamento do corpo por meio da circulação de ar. Desta forma, o SET é o índice mais indicado nas avaliações onde a velocidade do ar é superior a 0,20 m/s.

É permitido determinar o intervalo de temperatura operacional por interpolação linear entre os limites encontrados para cada uma das duas zonas. Métodos alternativos são permitidos, desde que o usuário faça a validação e documentação comprovando que o método utilizado produz os mesmos resultados.

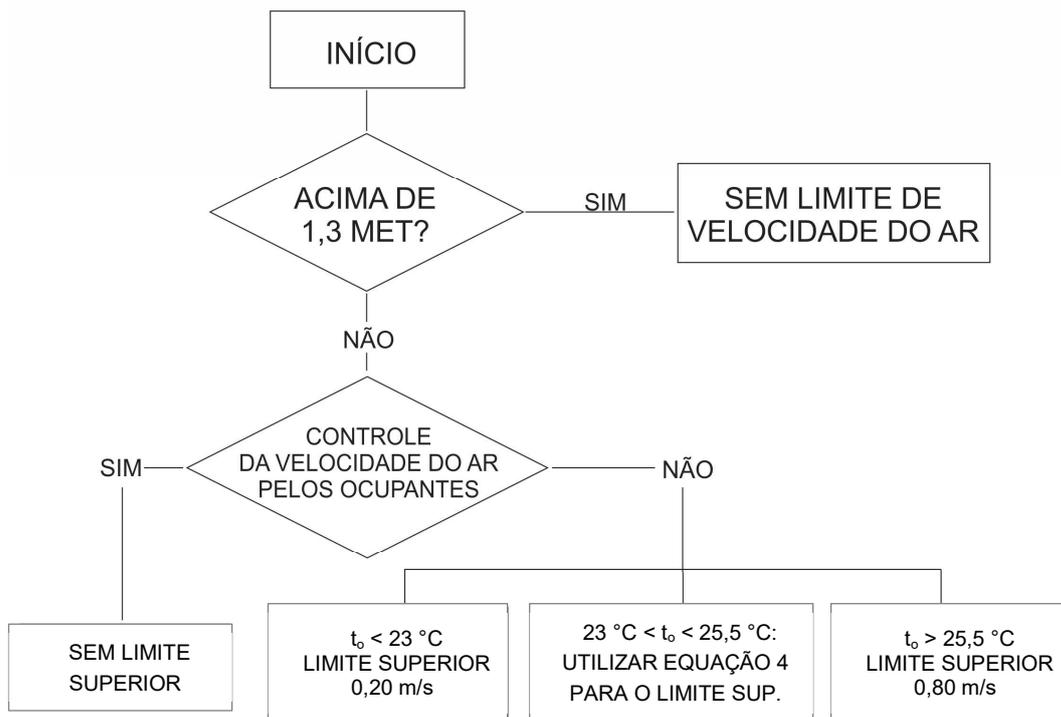
Quando a irradiação solar direta normal incidir em um ocupante representativo, a temperatura radiante média pode considerar como método alternativo a temperatura radiante média de ondas longas e curtas, conforme descrito na Seção 5.3.2.2.1.

A Figura 4 descreve as etapas para determinar os limites das entradas de velocidade do ar no modelo SET.



\*não existe limite máximo para a velocidade do ar quando os ocupantes têm o controle do ambiente

Figura 3 - Intervalos aceitáveis de temperatura operativa (°C) e velocidade do ar (m/s) para as zonas de 0,5 e 1,0 clo representadas na Figura 3, a uma razão de umidade limite de 0,012 kg•H<sub>2</sub>O/kg.



**Figura 4 - Fluxograma para a determinação dos limites de velocidade do ar, em conformidade com a Seção 5.3.3**

**5.3.3.3 Limites para velocidade do ar com controle local**

A área completa na Figura 3, sem limite aplicável de velocidade do ar, para uma dada vestimenta deve ser utilizada quando os ocupantes têm o controle local da velocidade do ar. Por controle local entende-se:

- um controle local a cada 6 ocupantes;
- um dispositivo de controle local no máximo a cada 84 m<sup>2</sup>;
- Em espaços compartilhados por diferentes ocupantes com atividades diversas (por exemplo, salas de aula, salas de videoconferência), pelo menos um controle deve ser fornecido em cada espaço, independentemente do tamanho. Espaços desta mesma natureza que podem ser divididos por divisórias móveis devem possuir um controle em cada subdivisão.

A faixa de variação do controle deve prever velocidades do ar adequadas para pessoas em atividade sedentária. O ajuste da velocidade do ar deve ser contínuo, ou no máximo em intervalos de 0,25 m/s, considerando medições no local ocupado pelos usuários.

Exceção Em ambientes ocupados por múltiplos usuários, para atividades em grupo, como salas de aula e salas de conferência, pelo menos um controle deve estar disponível para cada ambiente, independente do seu tamanho. Ambientes que podem ser subdivididos por paredes móveis devem ter um controle para cada subdivisão.

**5.3.3.4 Limites para velocidade do ar sem controle local**

Caso os ocupantes não tenham controle sobre a velocidade do ar, os limites estabelecidos na Figura 3 (área cinza clara) devem ser utilizados.

Exceção Os limites de controle local não se aplicam em ocupantes representativos com atividade metabólica superior a 1,3 met e isolamento da vestimenta superior a 0,7 clo.

- Para temperaturas operativas acima de 25,5 °C, o limite superior da velocidade do ar deve ser de 0,8 m/s.
- Para temperaturas operativas entre 23 °C e 25,5 °C, a velocidade média do ar permitida deve seguir a curva de igual SET da Figura 3. É permitido aproximar a curva pela Equação 4 abaixo:
- Para temperaturas operativas abaixo de 23 °C, o limite para a velocidade média do ar e local máximo deve ser de 0,20 m/s;

$$v_a = 50,49 - 4,4047 \cdot t_a + 0,096425 \cdot (t_a)^2 \quad (\text{m/s}, ^\circ\text{C}) \quad (4)$$

Nota: Os limites indicados acima são representados pela área cinza clara da Figura 2.

**5.3.4 Desconforto térmico local**

**5.3.4.1 Aplicabilidade**

O desconforto térmico local pode ser causado pela diferença na temperatura do ar entre a altura dos pés e da cabeça, por assimetria no campo radiante, por resfriamento convectivo localizado ou por meio do contato com pisos frios ou quentes. Os requisitos para os limites destes valores são especificados nesta seção. Tais limites se aplicam a pessoas com roupas leves (abaixo de 0,7 clo) que desenvolvem atividades sedentárias (abaixo de 1,3 met).

Para o atendimento desta seção, a altura relativa ao tornozelo de um ocupante representativo é de 0,1 m acima do chão; a altura até a cabeça é de 1,1 m para ocupantes sentados e 1,7 m para ocupantes em pé.

Nota: Esta parte da norma não contém requisitos para os ocupantes em pé enquanto todos os ocupantes representativos estão sentados. Muitos ocupantes em pé possuem taxa metabólica superior a 1,3, e, pelo critério (b) acima, os requisitos desta Seção não se aplicam a eles.

#### 5.3.4.2 Assimetria de temperatura radiante

A assimetria da temperatura radiante não deve ultrapassar os limites especificados na Tabela 5.

**Tabela 5 — Assimetria máxima permitida na temperatura radiante**

Assimetria na temperatura radiante °C			
Teto mais quente que o piso	Teto mais frio que o piso	Parede mais quente que o ar interno	Parede mais fria que o ar interno
< 5	< 14	< 23	< 10

#### 5.3.4.3 Gradiente vertical de temperatura

Diferenças na temperatura do ar entre o nível da cabeça e do tornozelo não devem exceder 3°C para ocupantes sentados, e 4 °C para ocupantes em pé.

#### 5.3.4.4 Temperatura superficial do piso

Quando ocupantes representativos estão sentados, com os pés em contato com o piso, a temperatura superficial do piso deve estar entre 19 °C e 29 °C.

#### 5.3.4.5 Variações de temperatura com o tempo

Flutuações de temperatura do ar, e/ou radiante média, podem afetar o conforto dos ocupantes. Tais flutuações, se controladas pelos ocupantes, não apresentam impacto negativo no conforto, e neste caso, os requisitos desta seção não se aplicam. No entanto, flutuações que ocorram devido aos fatores fora do controle direto dos indivíduos podem resultar em um efeito negativo nos ocupantes, se aplicando nestes casos os requisitos desta seção.

##### 5.3.4.5.1 Variações cíclicas

Variações cíclicas se referem às variações na temperatura operativa, fazendo com que ela suba e desça em períodos inferiores a 15 min., dentro de um determinado período de tempo. Para a aplicação desta parte da Norma, as variações cíclicas na temperatura operativa ( $t_o$ ) em um período de tempo inferior a 15 min. devem ter uma amplitude de pico a pico de no máximo 1,1 °C. Caso o período de variação seja superior a 15 min., ela será tratada como uma rampa, e os requisitos da Seção 5.3.5.2 se aplicam.

Nos casos em que as variações sejam feitas em períodos inferiores a 15 min., em conjunto com variações de período maiores, a Seção 5.3.5.1 se aplica ao período com variação inferior a 15 min., e a Seção 5.2.5.2 se aplica nos períodos maiores.

##### 5.3.4.5.2 5.3.5.2 Rampas e alterações

Rampas de temperatura operativa são variações não cíclicas, com períodos superiores a 15 min.; as alterações se referem às mudanças passivas da temperatura do ambiente, enquanto que as rampas são provocadas por mudanças controladas. Os requisitos desta seção se aplicam às alterações e rampas.

A Tabela 6 especifica a máxima alteração na temperatura operativa permitida em um período de tempo. Para qualquer período de tempo, o requisito mais restritivo da Tabela 3 será aplicado. Por exemplo, a temperatura operativa não deve mudar mais que 2,2 °C durante o período de 1h; também não deve mudar mais que 1,1 °C durante períodos de 0,25h, em um período total de 1h. Caso as variações sejam criadas a partir do controle do usuário, valores maiores podem ser aceitos.

**Tabela 6 - Valores limites de rampas e variações**

Período de tempo (h)	0,25	0,5	1	2	4
Máxima alteração permitida na temperatura operativa (°C)	1,1	1,7	2,2	2,8	3,3

## 5.4 Determinação das condições térmicas aceitáveis em ambientes ventilados naturalmente e controlados pelos usuários

### 5.4.1 Aplicabilidade

Este método se aplica a ambientes naturalmente condicionados, onde as janelas podem ser operadas e ajustadas pelos ocupantes de acordo com suas necessidades. A utilização deste método deve seguir os seguintes critérios:

- Não deve existir nenhum tipo de sistema de condicionamento artificial mecânico operando durante o período avaliado.
- Os ocupantes devem desenvolver atividades sedentárias com taxas metabólicas entre 1,0 e 1,3 met. (Ver Anexo A para estimativas de taxas metabólicas).
- Os ocupantes podem variar a sua vestimenta em uma faixa de pelo menos 0,5 – 1,0 clo (Ver Anexo B para estimativa de isolamento de vestimentas).
- A temperatura média predominante do ar externo deve estar dentro do intervalo entre 10,0 °C e 33,5 °C.

### 5.4.2 Método

A temperatura operativa interna admissível deve ser determinada pela Figura 5 a partir dos limites de 80% de aceitabilidade.

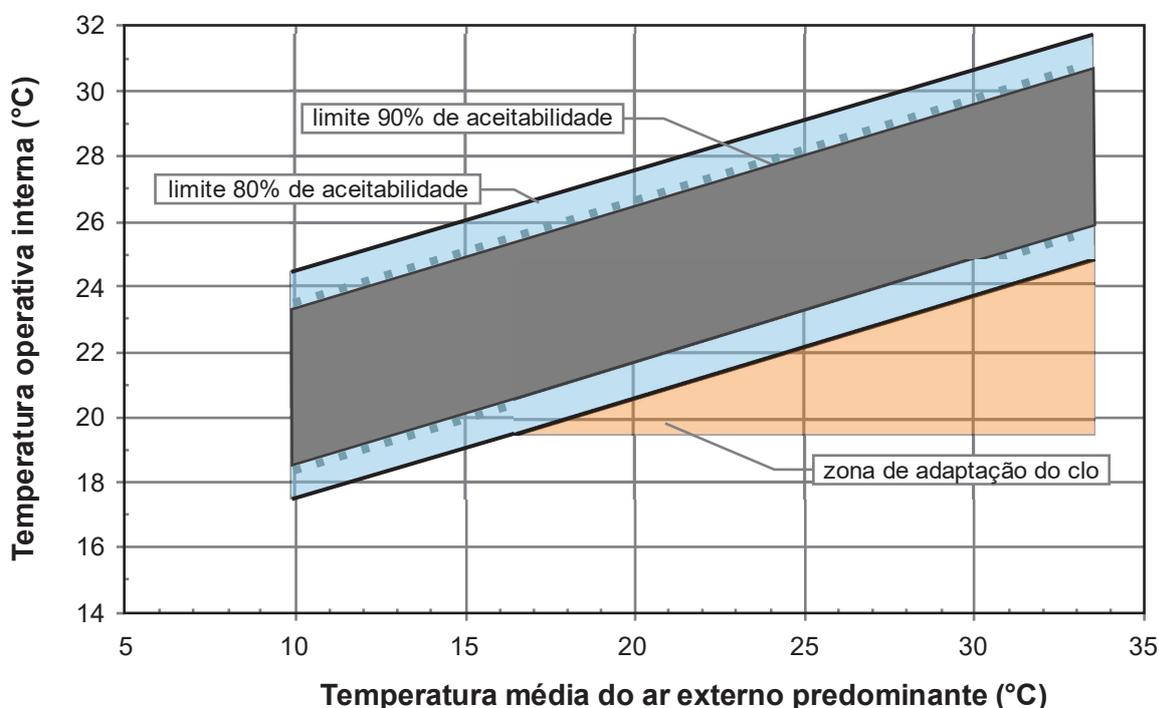
Nota: Os limites de 90% de aceitabilidade são apenas informativos.

Para a determinação da faixa de temperatura operativa aceitável da Figura 5 devem ser utilizadas as equações 5 (limite superior) e 6 (limite inferior). A Temperatura média predominante do ar externo deve ser calculada de acordo com a Seção 5.4.3

$$\text{- Limite superior de 80 \% de aceitabilidade (°C) = } 0,31 t_{pma (out)} + 21,3; \quad (5)$$

$$\text{- Limite inferior de 80 \% de aceitabilidade (°C) = } 0,31 t_{pma (out)} + 14,3. \quad (6)$$

Neste método, os efeitos de desconforto térmico local, roupa, atividade metabólica, umidade e velocidade do ar não devem ser analisados isoladamente, pois já foram considerados pelos limites da Figura 5.



**Figura 5 - Faixa de temperatura operativa aceitável para ambientes naturalmente condicionados**

Caso a temperatura operativa interna for superior a 25 °C, o ajuste dos limites superiores de aceitabilidade térmica da Figura 5 deve ser permitido, de acordo com o  $\Delta t_o$  da Tabela 7.

Caso a temperatura operativa interna seja superior a 19,5 °C, ao mesmo tempo em que a temperatura média do ar externo exceda 16,5 °C, a zona de adaptação ao clo proposta pela área laranja da Figura 5 deve ser utilizada. Nesses casos, o novo limite inferior para 80% de aceitabilidade passa a ser de 19,5 °C.

**Tabela 7 - Aumento nos limites de temperatura operativa aceitável ( $\Delta t_o$ ) em ambientes naturalmente condicionados (Figura 5) resultantes de velocidades do ar acima de 0,3 m/s.**

Velocidade média do ar >0,3 ≤0,6 m/s	Velocidade média do ar >0,6 ≤0,9 m/s	Velocidade média do ar >0,9 ≤1,2 m/s
1,2 °C	1,8 °C	2,2 °C

### 5.4.3 Temperatura média predominante do ar externo

Nos espaços que atendem os critérios estabelecidos na Seção 5.4, a faixa de temperatura operativa permitida no interior do edifício deve ser determinada a partir da Figura 5, sendo a temperatura média predominante do ar externo, determinada com base nos sete últimos dias antes do dia em questão. A temperatura média predominante do ar externo deve ser calculada por meio da equação 7:

$$t_{\text{mpa(out)}} = 0,34t_{\text{od-1}} + 0,23t_{\text{od-2}} + 0,16t_{\text{od-3}} + 0,11t_{\text{od-4}} + 0,08t_{\text{od-5}} + 0,05t_{\text{od-6}} + 0,03t_{\text{od-7}} \quad (7)$$

Onde

$t_{\text{pma (out)}}$  é a temperatura média predominante do ar externo;

$t_{\text{od-1}}$  é a temperatura média do dia anterior ao dia em questão;

$t_{\text{od-2}}$  é a temperatura média do dia anterior ao dia anterior, e assim por diante.

A temperatura média do ar externo diária para cada um dos dias sequenciais ( $t_{\text{od-1}}$ ;  $t_{\text{od-2}}$ , ...) deve ser definida a partir de uma média aritmética simples considerando todas as observações de temperatura de bulbo seco ao ar livre durante as 24 horas do dia.

Exceção Quando os dados meteorológicos não estiverem disponíveis para o cálculo da temperatura média predominante do ar externo, é satisfatória a utilização da temperatura média mensal publicada por estações meteorológicas.

## 6 Formas de avaliar conforto térmico por meio de medições

A avaliação das condições de conforto térmico em um edifício pode ser feita por meio da consulta aos usuários, ou, por meio de medições das variáveis ambientais, estimativa das variáveis pessoais e uso de um índice de conforto. Como as condições internas podem variar em função das condições externas, é sempre necessário dizer em quais condições o edifício foi testado ao apresentar condições de conforto térmico.

### 6.1 Conforto a partir da percepção do usuário

O termo “Conforto Térmico” abrange diversos aspectos da percepção do usuário, sendo que cada um destes aspectos é avaliado de forma diferente por meio de itens específicos contidos em um questionário. A melhor maneira de se diagnosticar as condições de conforto térmico oferecidas por uma edificação é por meio de perguntas e respostas que reflitam a real percepção do usuário com relação aos parâmetros climáticos internos (ver Anexo E, modelo básico de questionário). As pesquisas de percepção do usuário podem ser instantâneas (questionários aplicados ao mesmo tempo em que as variáveis ambientais são medidas) ou longitudinais (primeiro são levantadas todas as características da edificação, e depois os usuários são entrevistados).

#### 6.1.1 Pesquisas de satisfação

A pesquisa de satisfação considera quão satisfeito o ocupante está com relação às condições térmicas internas, considerando o período em que os mesmos ocupam a edificação e o local de trabalho. As pesquisas de satisfação devem utilizar uma escala sétima que varia de “satisfeito” até “insatisfeito”, incluindo perguntas que possam levar à identificação das possíveis causas desta insatisfação.

#### 6.1.2 Pesquisa de aceitabilidade, sensação e preferência

Na pesquisa de aceitabilidade, as perguntas devem prever se o usuário considera as condições ambientais “aceitáveis” ou “inaceitáveis”. Para a verificação da sensação térmica, deve ser utilizada a escala sétima de votos, dividida da seguinte maneira: muito frio (-3), frio (-2), levemente frio (-1), neutro (0), levemente quente (+1), quente (+2) e muito quente (+3). Com relação à preferência, as pesquisas devem utilizar a escala: mais aquecido, não mudar ou mais resfriado. As pesquisas devem ser aplicadas em toda a população, ou em uma amostra representativa, considerando condições representativas dos períodos de operação.

### 6.1.3 Formas de análise

O percentual de usuários insatisfeitos ou em desconforto térmico deve ser calculado e comparado com os limites estabelecidos.

#### 6.1.3.1 Pesquisas de satisfação

Calcular a percentagem dos votos nas categorias de apenas “satisfeito” até “muito satisfeito” em relação ao total dos votos. Incluir no relato as questões ligadas à insatisfação e as quantificações percentuais.

#### 6.1.3.2 Pesquisa de aceitabilidade, sensação e preferência

Nas pesquisas de aceitabilidade devem ser calculados o percentual de usuários que consideram o ambiente “aceitável” ou “inaceitável”. O mesmo deve ser feito com os votos de preferência térmica, respeitando a escala estipulada; (mais quente, não mudar, mais frio). Nas pesquisas de sensação térmica, os votos “+1”, “0” e “-1” devem ser considerados como confortáveis, e devem ser divididos pelo total de votos em cada instante de medição.

## 6.2 Conforto a partir da medição das variáveis ambientais e estimativa das variáveis pessoais

As quatro variáveis ambientais (temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade do ar e umidade do ar) devem ser medidas com o auxílio de equipamentos adequados, e devidamente calibrados. As duas variáveis pessoais (atividade metabólica e vestimenta) devem ser estimadas por meio de questionários, para que seja possível a aplicação de um índice de conforto térmico. A estimativa das variáveis pessoais deve ser feita de acordo com os Anexos A e B desta parte da Norma. No caso do índice PMV/PPD, são utilizadas todas as 6 variáveis. Já no caso do modelo adaptativo só serão utilizadas a temperatura do ar, a temperatura radiante média e a velocidade do ar.

Todos os equipamentos utilizados para a medição das variáveis ambientais devem estar de acordo com os critérios definidos na Tabela 8.

**Tabela 8 - Faixa de medição instrumental e precisão requerida dos equipamentos**

Variável Ambiental	Faixa de Medição	Acuidade
Temperatura do ar (temperatura de bulbo seco e bulbo úmido)	10 °C a 40 °C	± 0,2 °C
Temperatura radiante média	10 °C a 40 °C	± 1°C
Temperatura radiante plana	0°C a 50°C	± 0,5 °C
Temperatura superficial	0 °C a 50 °C	± 1°C
Umidade relativa do ar	25 % a 95 % UR	± 5 %
Velocidade do ar	0,05 a 2,0 m/s	± 0,05 m/s
Radiação direcional	-35 W/m <sup>2</sup> a + 35 W/m <sup>2</sup>	± 5 W/m <sup>2</sup>

### 6.2.1 Medição da temperatura do ar

A temperatura do ar é determinada geralmente por medições de variáveis que são funções de volumes de líquidos, resistências elétricas, força eletromotriz, etc. Qualquer que seja a variável com a qual está sendo relacionada à temperatura, a leitura do sensor corresponde somente à temperatura onde ele se encontra, podendo diferir ou não da temperatura do fluido geral a ser medido.

Para a medição da temperatura do ar, deve ser calculado um valor médio em função da localização do ocupante e do tempo de exposição. Para o cálculo da média espacial devem ser considerados os valores de temperatura do ar ao nível do tornozelo, cintura e altura da cabeça, cobrindo no mínimo pontos pré-determinados que devem ser representativos da área ocupada. Estes níveis correspondem respectivamente a: 0,10; 0,60 e 1,10 metros para ocupantes sentados e, 0,10; 1,10 e 1,70 metros para ocupantes em pé. Interposições com localizações igualmente espaçadas também podem ser incluídas na média.

A média temporal é uma média que considera no mínimo 3 min. de medição, e se aplica a todas as localizações das médias espaciais, que deve considerar a posição dos usuários no ambiente.

#### **6.2.1.1** *Tipos de sensores de temperatura do ar*

a) Termômetros de expansão:

— termômetros de expansão de líquidos (mercúrio, etc.), termômetros de expansão de sólidos;

b) Termômetros elétricos:

— termômetros de resistência variada (resistor de platina, termistor), termômetros baseados em geração de força eletromotriz (termopares).

#### **6.2.1.2** *Precauções a serem tomadas na durante a medição da temperatura do ar*

Redução do efeito da radiação:

Devem ser tomados cuidados para se proteger o sensor contra os efeitos da radiação proveniente de superfícies vizinhas; caso contrário, o valor medido não será o valor correto da temperatura do ar, e sim um valor intermediário entre a temperatura do ar e a temperatura radiante média. Estes cuidados podem ser efetivados de diferentes maneiras:

a) reduzindo a emissividade do sensor, utilizando um sensor polido quando o mesmo for de metal, ou utilizando-se um sensor coberto por tinta reflexiva quando o mesmo for do tipo isolante;

b) reduzindo a diferença de temperatura entre o sensor e as paredes adjacentes a ele. Quando essa redução não for possível, deve ser utilizada uma barreira radiante entre o sensor e o ambiente (uma ou mais telas ou chapas refletivas finas, por exemplo, de alumínio de 0,1 a 0,2 mm). Deve ser deixado um espaço entre a proteção e o sensor, para que haja convecção natural;

c) aumentando o coeficiente de convecção por meio de um aumento da velocidade do ar, utilizando-se ventilação forçada e reduzindo-se o tamanho do sensor;

d) inércia térmica do sensor:

O sensor requer um determinado tempo para indicar a temperatura correta, já que a leitura não é instantânea. Uma medição não deve ser concretizada em um período menor que 1,5 vezes o tempo de resposta (90%) do sensor. Um sensor responderá mais rapidamente: quanto menor a temperatura do sensor e mais baixo seu calor específico e, quanto melhor forem as trocas térmicas com o ambiente.

#### **6.2.1.3** *Temperatura local do ar*

A temperatura local do ar é definida da mesma forma que a temperatura do ar, exceto por se referir a um mesmo nível (por exemplo, o nível da cabeça). É necessária pelo menos uma localização neste nível. Para determinar uma melhor média, é aceitável incluir diversos pontos ao redor do corpo.

## 6.2.2 Medição da temperatura radiante média

A temperatura radiante média é definida como a temperatura uniforme de um compartimento negro (no sentido físico radiante) que troca com um ocupante a mesma quantidade de radiação térmica que um ambiente real trocaria. É um valor único para todo o corpo, podendo ser considerado como uma média espacial das superfícies circundantes, ponderada por seus respectivos fatores de forma com relação ao ocupante. O montante de calor radiante ganho ou perdido pelo corpo pode ser considerado como a soma algébrica de todos os fluxos radiantes trocados por suas partes expostas com as várias fontes de calor a seu redor. A radiação a que está sujeita uma pessoa no interior de um ambiente pode ser determinada utilizando as dimensões do ambiente, suas características térmicas e a localização da pessoa no ambiente. Este método pode, porém, ser complexo e bastante trabalhoso, uma vez que pode haver várias fontes emissoras de radiação e de variados tipos.

Para fins da Seção 5, a temperatura radiante média também deve ser calculada em função do tempo. A média temporal deve ser calculada da mesma forma que a temperatura do ar, mas apenas na região da altura referente à cintura (0,6 m do chão para pessoas sentadas, e a 1,1 m do chão para pessoas em pé).

Basicamente, a temperatura radiante média pode ser medida com o auxílio de um termômetro de globo negro, que possui em seu centro um sensor de temperatura do tipo “bulbo de mercúrio”, “termopar” ou “resistor”. Existem globos de diversos diâmetros, mas para facilitar o cálculo utilizando uma fórmula padrão (que depende do diâmetro), é recomendada a medição utilizando um globo de 15cm. Quanto menor o diâmetro do globo, maior será o efeito da temperatura e da velocidade do ar, o que pode levar a imprecisões dos resultados.

Como a superfície externa do globo deve absorver a radiação proveniente das paredes do ambiente, sua superfície deve ser negra ou com cobertura eletroquímica, ou pintura com tinta negra.

### 6.2.2.1 Princípios de medição e cálculo

O globo situado em um ambiente tende a um balanço térmico sob os efeitos das trocas térmicas devido à radiação (proveniente de diferentes fontes do ambiente) e devido aos efeitos da convecção. Nas medições de conforto térmico é necessário primeiramente determinar o coeficiente de troca de calor por convecção do globo (Equações 8 e 9), para depois adotar a equação mais adequada (Equação 10 ou 11), que deve ser aquela representada pelo coeficiente de maior valor. A verificação do coeficiente de convecção deve ser feita a partir das seguintes equações:

a) convecção natural:

$$h_{cg} = 1,4 \sqrt[4]{\frac{\Delta t}{D}} \quad (8)$$

b) convecção forçada:

$$h_{cg} = 6,3 \cdot \frac{v_a^{0,6}}{D^{0,4}} \quad (9)$$

onde

$h_{cg}$  é o coeficiente de troca de calor por convecção do globo (W/(m<sup>2</sup>.°C));  
 $\Delta t$  é a diferença de temperatura (tg - ta) (expressa em graus Celsius);

$D$  é o diâmetro do globo (expressa em metros) (normalmente 0,15 m);  
 $v_a$  é a velocidade média do ar (m/s).(expressa em metros por segundo)

Determinado o maior coeficiente de convecção, as equações a serem adotadas são:

a) convecção natural

$$t_r = \sqrt[4]{(t_g + 273)^4 + (0,4 \cdot 10^8) \cdot \sqrt[4]{|t_g - t_a|} \cdot (t_g - t_a) - 273} \quad (10)$$

b) convecção forçada

$$t_r = \sqrt[4]{(t_g + 273)^4 + (2,5 \cdot 10^8) \cdot v_a^{0,6} \cdot (t_g - t_a) - 273} \quad (11)$$

### 6.2.2.2 Precauções a serem tomadas quando se utiliza o globo negro

Como a radiação em um ambiente é um dos principais fatores causadores de desconforto localizado, a determinação incorreta da temperatura radiante média pode resultar em grandes erros de medições. Assim, as seguintes precauções devem então ser tomadas:

- O tempo de resposta do termômetro de globo é de aproximadamente 20/30 minutos, de acordo com as características do globo e condições ambientais. Leituras sucessivas permitirão que o equilíbrio seja alcançado de maneira mais eficaz. Em ambientes com variações rápidas de temperatura, radiação e velocidade do ar, o termômetro de globo não é considerado o instrumento mais adequado para a medição devido à sua alta inércia térmica;
- A precisão da medição da temperatura radiante média pode variar de acordo com as precisões dos outros parâmetros ambientais medidos. A precisão com a qual está se trabalhando deve ser sempre indicada;
- O uso do termômetro de globo representa uma aproximação da temperatura radiante média à que está sujeita uma pessoa devido à sua forma esférica, que não corresponde a real forma do corpo humano. Em casos particulares de medição da radiação proveniente do teto ou do piso, os valores medidos com o globo são geralmente superestimados quando relacionados aos reais sentidos pelo usuário;
- A utilização do termômetro de globo quando exposto à radiação de ondas curtas (sol, por exemplo) requer uma pintura que apresente a mesma absorvidade para ondas curtas que as superfícies das roupas (cinza médio, por exemplo). Uma possível alternativa é a realização do cálculo considerando a absorvidade da roupa utilizada pelo usuário.

### 6.2.3 Medição de velocidade do ar

A velocidade do ar é um parâmetro que deve ser levado em consideração quando se analisam as trocas de calor por convecção e evaporação. É um parâmetro com grandes dificuldades na medição devido às constantes flutuações em intensidade e direção no tempo e espaço. É importante notar que em estudos de conforto térmico as flutuações da velocidade do ar têm bastante efeito na sensação subjetiva da corrente de ar.

Durante a medição da velocidade do ar deve-se atentar à sensibilidade do sensor com relação à direção do fluxo e às flutuações na intensidade. Para a avaliação de conforto térmico deve ser utilizado um valor médio de velocidade do ar, medido ao longo de um intervalo de 1 a 3 min. As variações que ocorrem durante um período maior que 3 minutos devem ser tratadas como múltiplos valores de velocidade do ar.

O termo “velocidade média do ar” também incorpora a variação média espacial de medições realizadas nos 3 níveis prescritos, para pessoas sentadas ou em pé. O cálculo da média pode ser ponderado pelo pesquisador/projetista da seguinte maneira:

O modelo termo fisiológico SET se baseia na suposição de que o corpo está exposto a uma velocidade do ar uniforme; no entanto, os espaços com sistemas ativos ou passivos que promovem condições não uniformes de velocidade do ar podem promover de maneira mais eficaz a perda de calor sobre a superfície da pele, o que pode não acontecer em espaços onde a velocidade do ar é uniforme; portanto, o pesquisador/projetista deve decidir um valor médio apropriado de velocidade do ar para ser utilizado no Método Gráfico (Figuras 1 e 2 da Seção 5.2). Uma média adequada deve incluir velocidades do ar incidentes em partes despidas do corpo (por exemplo, a cabeça), já que tais partes possuem um maior potencial de resfriamento e de desconforto localizado.

#### **6.2.3.1 Tipos de sensores de velocidade do ar e medição**

De uma maneira geral, a velocidade do ar pode ser determinada:

- Por meio da utilização de um instrumento omnidirecional, sensível à magnitude da velocidade do ar, independente da sua direção (esfera aquecida);
- Sensor unidirecional, desde que a direção predominante da velocidade do ar seja determinada previamente às medições. Tal procedimento pode ser realizado utilizando *sticks* de fumaça sem nenhum tipo de odor.

#### **6.2.3.2 Precauções a serem tomadas na medição da velocidade do ar**

- Para a medição da velocidade do ar devem ser levados em consideração os seguintes fatores: a calibração do instrumento, o tempo de resposta de sensor e o período de medição (tempo).
- Fluxos de ar com alta turbulência e baixa frequência das flutuações das velocidades necessitam de períodos de medição maiores que os fluxos com baixa intensidade de turbulência e alta frequência das flutuações das velocidades.

#### **6.2.4 Medição da umidade do ar**

A umidade do ar é um valor geral de referência para descrever o teor de umidade no ar. Este valor é expresso em diversas variáveis termodinâmicas, incluindo a pressão de vapor, temperatura de ponto de orvalho, e razão de umidade específica. A alta umidade do ar reduz a evaporação do suor e conduz ao estresse térmico. No que se refere às trocas por evaporação entre a pessoa e o ambiente, a umidade específica do ar é o parâmetro que deve ser levado em consideração, e é frequentemente expressa sob a forma de pressão parcial de vapor de água. A pressão parcial de vapor de água de uma mistura de ar úmido é a pressão que o vapor d'água contido nesta mistura exerceria se ocupasse sozinho o volume ocupado pelo ar úmido, à mesma temperatura.

A umidade específica pode ser determinada diretamente (instrumentos de ponto de orvalho ou instrumentos eletrolíticos), ou indiretamente, por meio da medição de diversos outros parâmetros medidos simultaneamente (umidade relativa do ar e temperatura do ar, temperatura de bulbo úmido e bulbo seco

utilizando um psicrômetro). O psicrômetro giratório é um aparelho comumente utilizado para a medição de umidade, permitindo que a determinação ocorra por meio da diferença entre um valor de medição da temperatura do ar ( $t_a$ ) e temperatura úmida psicrométrica ( $t_{bu}$ ). A rotação do equipamento faz com que a velocidade do ar provoque a evaporação da água contida na mecha de algodão do sensor de bulbo úmido, provocando uma queda na temperatura deste sensor. A evaporação depende da saturação de vapor de água da atmosfera.

A precisão de medição do equipamento utilizado deve estar de acordo com a Tabela 8 desta parte da Norma.

Assim, a umidade relativa e absoluta do ar é caracterizada pela razão de umidade ou pressão parcial de vapor d'água, podendo ser determinada pela carta psicrométrica ou por relações analíticas de psicrometria. A umidade relativa ( $e$ ) é a razão entre a pressão do vapor de água ( $p_a$ ) do ar úmido, e a pressão de vapor saturado ( $p_{as}$ ) para uma mesma temperatura e mesma pressão atmosférica total, sendo definida por meio da equação:

Como a umidade relativa do ar é expressa em porcentagem, escreve-se:

$$UR = e \cdot 100 \quad (12)$$

#### 6.2.4.1 Precauções a serem tomadas na medição da umidade relativa do ar

- O termômetro de bulbo úmido deve ser suficientemente ventilado, considerando uma velocidade do ar entre 4 e 5 m/s;
- Os termômetros de bulbo seco e úmido devem ser protegidos da radiação por algum tipo de barreira;
- A mecha ao redor do termômetro de bulbo úmido deve se estender além da parte sensível do bulbo, eliminando os erros que ocorrem devido à condução térmica no termômetro;
- A água para umidificar a mecha deve ser destilada, considerando que a pressão de vapor d'água no caso de soluções salinas é menor quando comparada à soluções puras;
- A mecha do termômetro de bulbo úmido deve permitir que a água circule facilmente por atração capilar, principalmente em situações onde a umidade específica do ar é baixa.

#### 6.2.5 Posição espacial para medição das variáveis

##### 6.2.5.1 Localização das medições

As medições das variáveis devem ser feitas em locais ocupados, que sejam representativos de onde os usuários costumam ficar. Caso o local de ocupação não seja conhecido, as medições devem incluir pelo menos os seguintes pontos: o centro da zona e 1,0 m adentro do centro de cada parede externa com janela, centralizado a partir do meio da maior janela.

Medições também devem ser feitas em localizações que resultem em situações críticas como perto de janelas, perto de saídas de difusores de ar, cantos e recessos.

##### 6.2.5.2 Altura das medições

Temperatura do ar e velocidade do ar devem ser medidas a 0,1, 0,6, e 1,1 m de altura para ocupantes sentados e a 0,1, 1,1, e 1,7 m de altura para ocupantes em pé. A temperatura operativa ou o PMV/PPD devem ser medidos ou calculados a 0,6 m do chão para ocupantes sentados ou 1,1 m para ocupantes em

pé. Caso seja detectada alguma forma de desconforto localizado, as alturas a serem utilizadas são as mesmas especificadas na Seção 5.3.4.

### 6.2.6 Frequência das medições

A frequência das medições deve representar uma amostra das horas ocupadas em um dado período (ano, estação ou dia típico), ou, devem ser feitas em períodos onde acontecimentos críticos são esperados.

Se existem mudanças significativas na temperatura do ar, as medições devem ser feitas a cada 5 min. por pelo menos duas horas para verificar o atendimento dos limites especificados por esta parte da Norma.

### 6.2.7 Medições simplificadas utilizando os sistemas de automação predial

Como grande parte dos edifícios novos possui sistema de automação, deve-se prever a aquisição e armazenamento dos dados de temperatura (com precisão superior a 0,5 °C) em intervalos de 10 a 30 min.

## 6.3 Índices de conforto

Dois índices de conforto podem ser utilizados:

- O PMV deve ser utilizado em ambientes continuamente condicionados, sendo que os limites estabelecidos na Seção 5.3 estabelecem a zona de conforto para 2 tipos de vestimenta. O movimento do ar pode modificar a zona de conforto como estabelecido em 5.3.3.

- A temperatura operativa deve ser utilizada no modelo adaptativo descrito na Seção 5.4, em ambientes não condicionados. O movimento do ar pode modificar a zona de conforto como descrito na Tabela 4.

- Em ambientes operados por modo misto, isto é, onde são utilizados sistemas de condicionamento em um período do ano e ventilação natural em outro período, a avaliação do ambiente térmico deve ser feita aplicando-se os métodos respectivos ao modo de operação do período avaliado. Dessa forma, para uma avaliação anual, devem ser avaliados tanto os períodos com condicionamento artificial, pelos métodos da seção 5.3, quanto os períodos com ventilação natural a partir da aplicação do modelo da seção 5.4.

- Tanto a temperatura operativa como o PMV devem ser calculados ou medidos nas alturas de 0,6 m para pessoas sentadas e 1,1 m para pessoas de pé.

A temperatura operativa deve ser determinada de acordo com o método proposto pelo *ASHRAE Handbook – Fundamentals (2013)*, Capítulo “*Thermal Comfort*”. Seu cálculo leva em consideração a temperatura do ar e a temperatura radiante média, utilizando a seguinte equação:

$$t_o = A \cdot t_a + (1 - A) \cdot t_r \quad (13)$$

onde

$t_o$  é a temperatura operativa;

$t_a$  é a temperatura do ar;

$t_r$  a temperatura radiante média.

O valor de A é determinado em função da velocidade média do ar ( $v_a$ ), de acordo com a Tabela 6.

**Tabela 6 — Velocidade do ar**



$v_a$	< 0,2 m/s	0,2 até 0,6 m/s	0,6 até 1,0 m/s
<b>A</b>	0,5	0,6	0,7

Na maioria dos casos onde a velocidade média relativa do ar é baixa (< 0,2 m/s) ou onde a diferença entre a temperatura radiante média e a do ar é pequena (< 4 °C), a temperatura operativa pode ser calculada como a média entre a temperatura do ar e a temperatura radiante média. Neste caso, é imprescindível que os ocupantes estejam realizando atividades físicas sedentárias (com taxas metabólicas entre 1,0 e 1,3 met), e não estejam expostos à luz solar direta.

### 6.3.1 Avaliações em um instante de tempo

Estas avaliações podem ser feitas em condições de carga máxima, condições semelhantes à de projeto, eventos especiais ou diagnóstico de falhas ou reclamações.

### 6.3.2 Avaliações em um intervalo de tempo

Caso existam dados de um período de tempo (dia, estação ou ano) deve-se usar para o cálculo do número de horas excedidas em que as condições ambientais estão fora da zona de conforto. O número de horas excedidas (EH), ou horas de desconforto, é calculado para o PMV ou método adaptativo como segue:

Para aceitabilidade, sensação e preferência, usar o EH:

#### Para o PMV:

$$EH = \sum H_{disc}$$

onde  $H_{disc} = 1$  se o  $|PMV|$  estiver fora do intervalo de  $\pm 0,5$ ;  
e 0 se o oposto ocorrer. Neste caso,  $H_{disc}$  representa as horas de desconforto.

#### Para o modelo adaptativo:

$$EH = \sum (H > \text{limite superior} + H < \text{limite inferior}), \quad (14)$$

onde

$H > \text{limite superior} = 1$ , se  $t_o > t$  limite superior; e 0 se o oposto ocorrer;

$H > \text{limite inferior} = 1$  se  $t_o < t$  limite inferior; e 0 se o oposto ocorrer.

O desconforto por calor, ou por frio, pode ser quantificado da seguinte forma:

— Quando o valor de H se localizar acima do limite superior da zona de aceitabilidade da Figura 5, ocorre o desconforto por calor;

— Quando o valor de H se localizar abaixo do limite inferior da zona de aceitabilidade da Figura 5, ocorre o desconforto por frio.

É permitido quantificar um limite para o número de horas de desconforto térmico, taxas de variação excedidas, e horas de desconforto localizado excedidas a partir de um período de tempo de interesse.

## 7 Comprovação de atendimento à Norma na etapa do projeto

### 7.1 Projeto

Os edifícios e seus sistemas de condicionamento e controle devem ser projetados para que as condições de conforto térmico, sob condições climáticas referenciais, sejam mantidas. Esta Norma não trata do projeto destes sistemas, tratando apenas dos requisitos de conforto térmico aceitáveis para a maioria das pessoas. Deve-se estabelecer o percentual previsto de insatisfeitos ou em desconforto térmico, e o número de horas excedidas utilizando os anos climáticos de referência ou típicos (TRY, TMY) em climas com grandes variações anuais, ou dias típicos para climas com pequenas variações.

### 7.2 Documentação

O método e as condições de projeto para o uso do edifício devem ser selecionados e documentados como segue:

Nota: Alguns dos requisitos nos itens 1 e 3 abaixo não se aplicam em ambientes naturalmente condicionados ou mistos.

1. A temperatura operativa e a umidade (incluindo tolerâncias), as temperaturas externas de projeto (ver a versão de 2013 do ASHRAE *Handbook—Fundamentals, Chapter 14, “Climatic Design Information”*), e as cargas internas devem ser listadas. As horas e condições de não atendimento aos requisitos de projeto estabelecidos na Seção 5 devem ser documentadas. Em edifícios complexos e passivos, as horas de não atendimento talvez tenham que ser calculadas com uso de simulação dinâmica horária durante um ano.

2. Os valores assumidos no projeto, como isolamento da vestimenta (clo) e o nível de atividade metabólica (met), devem ser documentados, incluindo suas eventuais variações sazonais.

3. O desconforto térmico local pode ser um fator de difícil análise, devido às limitações das ferramentas de simulação. Neste caso, uma narrativa sobre sua consideração na análise deve ser incluída. Quando existirem janelas com área superior a 50 % da área de fachada, a velocidade do ar mais alta e estratificação no deslocamento de ar, devem ser apresentados os cálculos que demonstrem que o desconforto local se encontra dentro dos limites estipulados na Seção 5.3.4.

Os limites a serem usados no cumprimento desta Norma são:

- a) para edifícios condicionados devem-se considerar os limites de PMV +/- 0,5 ou os limites da Seção 5.3, apresentando o número de horas de desconforto excedidas (EH);
- b) para edifícios sem condicionamento artificial, deve-se considerar os limites da Seção 5.4, apresentando número de horas de desconforto excedidas (EH).
- c) para edifícios com condicionamento artificial que operam de forma mista, devem ser calculadas as horas de desconforto excedidas (EH) para cada período do ano a partir dos limites aplicáveis ao modo de condicionamento predominante do período. Isto é, deve ser estimado o período em que há domínio de operação do condicionamento artificial e da ventilação natural e aplicados os limites indicados nas seções 5.3 e 5.4, respectivamente.

## 8 Comprovação de atendimento à norma de edificações existentes

Em edifícios existentes a comprovação pode ser feita para um dia crítico ou para um período crítico. Deve-se estabelecer o percentual previsto de insatisfeitos ou em desconforto térmico, o número de horas



excedidas e a média ponderada do grau de severidade das horas excedidas, utilizando os dados disponíveis. Em climas com grandes variações anuais, a análise deve cobrir períodos representativos destas variações; e em climas com pequenas variações, é possível utilizar apenas os dias típicos.

### **8.1 Por meio da sensação dos usuários**

O limite a ser usado no cumprimento desta Norma é o EH, conforme Seção 6.3.2.

### **8.2 Por meio de índices de conforto**

Os limites a serem usados no cumprimento desta Norma são:

- a) para edifícios condicionados deve-se considerar os limites de PMV +/- 0.5 ou os limites da Seção 5.3 (Método para determinação das condições térmicas aceitáveis em ambientes ocupados), apresentando o número de horas excedidas (EH);
- b) para edifícios sem climatização artificial, os limites da Seção 5.4 (Método para determinação das condições térmicas aceitáveis em ambientes naturalmente condicionados controlados pelos usuários) devem ser considerados, apresentando o número de horas excedidas (EH).
- c) para edifícios com condicionamento que operam de modo misto, devem ser utilizados os limites descritos em 8.2a e 8.2b dependendo do modo de operação predominante do período avaliado.



## Anexo A (Normativo) Níveis de atividade metabólica

### A.1 Utilização dos dados de taxa metabólica

Os dados apresentados na Tabela A.1 foram reproduzidos do capítulo 9 da versão 2013 do ASHRAE Handbook-Fundamentals<sup>3</sup>. Os valores representam as taxas típicas de metabolismo por unidade de área de superfície corporal de um adulto médio (área de DuBois = 1,8m<sup>2</sup>), considerando as atividades desenvolvidas de modo contínuo. Este capítulo do Handbook fornece informações adicionais para estimar e medir os níveis de atividade. A seguir, orientações gerais para o uso destes dados.

Nem todas as atividades que podem ser consideradas de interesse estão incluídas na Tabela. Os usuários desta parte da Norma devem utilizar seu próprio julgamento para combinar as atividades a serem consideradas com aquelas atividades similares encontradas na tabela. Alguns dos dados apresentados nesta Tabela são descritos em forma de intervalo, e outros como um valor único. O formato para uma determinada entrada baseia-se na fonte de dados original, não sendo uma indicação de quando um intervalo de valores deve ou não ser utilizado. Para qualquer atividade, com exceção das atividades sedentárias, a taxa metabólica pode variar dependendo da maneira como o indivíduo executa a tarefa, e das circunstâncias em que a tarefa é executada.

É permitido utilizar uma taxa metabólica média ponderada por um intervalo de tempo considerando a atividade executada, que pode variar ao longo de um período de uma hora ou menos. Por exemplo, uma pessoa que dentro de 1 hora costuma passar 30 minutos “levantando/embalando”, 15 min. “arquivando/de pé” e 15 min. “caminhando pelo ambiente” tem uma taxa metabólica média de:  $0,50 \times 2,1 + 0,25 \times 1,4 + 0,25 \times 1,7 = 1,8$  met. Tal cálculo para encontrar o valor médio não deve ser aplicado quando o período de variação for maior que uma hora. Por exemplo, uma pessoa que está “levantando/embalando” durante uma hora, e então “arquivando/de pé” durante mais uma hora, deve ser considerada como alguém que exerce duas atividades metabólicas distintas.

À medida que a taxa metabólica supera a marca de 1,0 met, a evaporação do suor se torna crescentemente importante para atingir conforto térmico. O método do PMV não é adequado para este tipo de análise, e esta parte da norma não deve ser aplicada durante situações onde a taxa metabólica média ponderada por um intervalo de tempo ultrapassa 2,0 met.

A taxa metabólica média ponderada por um intervalo de tempo só se aplica a um indivíduo. A taxa metabólica associada à atividade de um grupo de indivíduos dentro de um espaço não pode ser ponderada para encontrar um valor único médio a ser aplicado em todo o espaço. A gama de atividades de diferentes indivíduos em um espaço, e as condições ambientais necessárias àquelas atividades, deve ser considerada na aplicação desta parte da Norma. Por exemplo, os clientes de um restaurante podem ter uma taxa metabólica próxima de 1,0 met, enquanto os garçons podem ter uma taxa metabólica próxima de 2,0 met. Cada um destes grupos de ocupantes devem ser considerados separadamente quando forem determinadas as condições requeridas de conforto térmico do espaço. Em alguns casos não será possível promover um nível aceitável ou o mesmo padrão de conforto para todos os grupos de ocupantes (por exemplo, os clientes de um restaurante e os garçons).

Os valores das taxas metabólicas desta tabela foram determinados nos períodos em que a sensação térmica dos indivíduos avaliados estava próxima de neutra. Ainda não é conhecida a correta proporção em que as pessoas possam modificar sua taxa metabólica de maneira que o desconforto por calor possa ser amenizado.



**Tabela A.1 —Taxas Metabólicas para atividades típicas**

Atividade	Taxa Metabólica	
	Unidade Met	W/m <sup>2</sup>
<b>Descansando</b>		
Dormindo	0,7	40
Deitado	0,8	45
Sentado, quieto	1,0	60
De pé, relaxado	1,2	70
<b>Caminhando (em uma superfície plana)</b>		
0,9 m/s; 3,2 km/h;	2,0	115
1.2 m/s, 4.3 km/h,	2,6	150
1.8 m/s, 6.8 km/h,	3,8	220
<b>Atividades de Escritório</b>		
Lendo, sentado	1,0	55
Escrevendo	1,0	60
Digitando	1,1	65
Arquivando, sentado	1,2	70
Arquivando, de pé	1,4	80
Caminhando pelo ambiente	1,7	100
Levantando/empacotando	2,1	120
<b>Dirigindo/Voando</b>		
Automóvel	1,0 - 2,0	60 - 115
Aeronaves, rotina	1,2	70
Aeronaves, aterrissagem com instrumentos	1,8	105
Aeronaves, combate	2,4	140
Veículos	3,2	185
<b>Atividades Ocupacionais Diversas</b>		
Cozinhando	1,6 - 2,0	95 - 115
Limpando a casa	2,0 - 3,4	115 - 200
Sentado, movimento pesado dos membros	2,2	130
Trabalho de Máquina serrando(serra de mesa)	1,8	105
Luz (indústria elétrica)	2,0 - 2,4	115 - 140
Pesado	4,0	235
Manipulação, sacos de 50 kg	4,0	235
Trabalhos com picareta e pá	4,0 - 4,8	235 - 280
<b>Atividades diversas de Lazer</b>		
Dançando, social	2,4 - 4,4	140 - 255
Musculação	3,0 - 4,0	175 - 235
Tênis, individual	3,6 - 4,0	210 - 270
Basquetebol	5,0 - 7,6	290 - 440
Luta livre, competição	7,0 - 8,7	410 - 505

## Anexo B (Normativo) Isolamento da vestimenta

O montante de isolamento térmico que uma pessoa veste tem um impacto significativo no conforto térmico, sendo uma variável importante para a aplicação desta parte da norma. O isolamento da vestimenta pode ser expresso de diversas maneiras. Nesta parte da norma, o isolamento corporal proveniente de um conjunto de roupas é expresso em um valor de “clo” ( $I_{cl}$ ). Para maiores informações, usuários não familiarizados com a terminologia do isolamento da vestimenta devem procurar a referência ao termo no Capítulo 9 da versão 2013 do *ASHRAE Handbook – Fundamentals*<sup>3</sup>.

O isolamento proveniente da roupa pode ser determinado de diversos meios, e se dados precisos puderem ser encontrados em outras fontes – tais como as medições com manequins térmicos – eles podem ser considerados aceitáveis para o uso. Quando tal informação não está disponível, é permitido utilizar os valores das tabelas deste apêndice para estimar o isolamento da vestimenta valendo-se de um dos métodos descritos logo abaixo. Independente da fonte do valor do isolamento da roupa, esta parte da norma não deve ser utilizada para conjuntos de roupa com isolamento superior a 1,5 clo. Esta parte da norma não deve ser utilizada com roupas altamente impermeáveis à passagem da umidade (por exemplo, roupas com proteção química ou à chuva).

Três métodos para a estimativa do isolamento da vestimenta são apresentados. Os métodos estão listados em ordem de acuracidade, e devem ser utilizados em ordem de preferência.

**Método 1** A Tabela B.1 lista o isolamento proveniente de uma variedade de conjuntos de roupas comuns. Se o conjunto considerado corresponder razoavelmente bem a um dos conjuntos desta Tabela, então o valor de  $I_{cl}$  indicado deve ser usado.

**Método 2** A Tabela B.2 apresenta o isolamento da vestimenta de uma variedade de peças individuais de roupa. É aceitável adicionar ou subtrair peças de roupas dos conjuntos da Tabela B.1; por exemplo, se roupas íntimas longas (ceroulas) forem adicionadas ao conjunto 5 da Tabela B.1, o isolamento resultante do conjunto será:  $I_{cl} = 1,01 + 0,15 = 1,16$  clo.

**Método 3** É aceitável definir um conjunto completo de vestimenta utilizando uma combinação de roupas listada na tabela B.2. O isolamento de um conjunto é estimado pelo somatório de valores individuais listados na Tabela B.2; por exemplo, o isolamento estimado de um conjunto composto por um macacão com camisa de flanela, camiseta (T-shirt), cueca, botas e meias de comprimento médio, será:

$$I_{cl} = 0,30 + 0,34 + 0,08 + 0,04 + 0,10 + 0,03 = 0,89 \text{ clo.}$$

As Tabelas B.1 e B.2 se aplicam para uma pessoa de pé. Uma postura sentada resulta em um decréscimo no isolamento térmico da vestimenta devido à compressão das camadas de ar na roupa. Este decréscimo pode ser compensado pelo isolamento proporcionado pela cadeira. A tabela B.3 apresenta o efeito causado pelo isolamento da cadeira no montante do isolamento de um conjunto de vestimentas. Este método é aceitável para ajustar o valor da vestimenta em qualquer um dos 3 métodos citados acima.

Por exemplo, o isolamento da vestimenta de uma pessoa vestindo o conjunto 3 da Tabela B.1, sentada em uma cadeira executiva é de:  $0,96 + 0,15 = 1,11$  clo. Em muitas cadeiras, o efeito do “sentar” corresponde à uma mudança mínima no isolamento da vestimenta. Por esta razão, não é recomendado nenhum ajuste no clo quando existe alguma incerteza com relação ao tipo da cadeira e/ou se a atividade do indivíduo incluir ambos: sentar e ficar de pé. As Tabelas B.1 e B.2 são para pessoas que não estão se movendo.

O movimento do corpo diminui o isolamento de um conjunto de vestimenta através de um movimento do ar pelas aberturas das roupas, fazendo com que o ar circule. Este efeito pode variar significativamente, o que depende da natureza do movimento (por exemplo, caminhar x levantar), e também da natureza da roupa (uma roupa confortável e mais maleável ao corpo x uma roupa dura e solta). Por causa dessa variação, a acuracidade no isolamento da vestimenta de uma pessoa ativa se torna difícil, não se encontrando facilmente disponíveis, a não ser que medições específicas sejam feitas para as condições em questão (por exemplo, com um manequim se movimentando). Uma estimativa grosseira para o isolamento da vestimenta de uma pessoa se movimentando pode ser feita por meio da seguinte expressão:

$$I_{cl, active} = I_{cl} \times (0,6 + 0,4/M) \quad 1,2 \text{ met} < M < 2,0 \text{ met} \quad (\text{B.1})$$

onde

$M$  é a taxa metabólica em unidades de met;  
 $I_{cl}$  é o isolamento da vestimenta sem a atividade física.

Para taxas metabólicas inferiores a 1,2 met, nenhum ajuste é recomendado.

Quando uma pessoa está dormindo ou descansando em uma postura reclinada, a cama e as roupas de cama podem proporcionar um isolamento térmico considerável. Não é possível determinar o isolamento térmico para a maioria das situações onde uma pessoa está dormindo ou descansando, a não ser que o indivíduo esteja imóvel. Cada pessoa ajusta sua vestimenta para dormir ou descansar de acordo com a sua preferência. As condições ambientais e a vestimenta adequada ao sono e/ou descanso variam consideravelmente de pessoa para pessoa e, portanto, não podem ser determinadas por meio dos métodos inclusos nesta parte da norma.

A variabilidade das roupas entre os ocupantes em um mesmo espaço é uma consideração importante na aplicação desta parte da norma. Esta variabilidade assume duas formas; na primeira forma, indivíduos diferentes utilizam vestimentas diferentes, independentemente das condições térmicas (exemplos incluem as preferências pessoais entre homens e mulheres, escritórios onde os gerentes usam ternos e os outros funcionários podem usar camisa de mangas curtas); na segunda forma, a variabilidade entre as roupas é resultado da adaptação às diferenças individuais em resposta ao ambiente térmico (por exemplo, algumas pessoas estão vestindo blusas com mangas compridas enquanto outras podem estar vestindo camisetas - dentro de um mesmo ambiente, desde que não existam restrições limitantes com relação à vestimenta). A primeira forma de variabilidade pode resultar em diferenças nos requisitos de conforto térmico entre diferentes ocupantes, e estas diferenças devem ser abordadas durante a aplicação desta parte da norma. Nesta situação, não é aceitável definir uma média de isolamento da vestimenta de vários grupos de ocupantes para determinar as condições do ambiente necessárias para todos os ocupantes. Cada grupo deve ser considerado separadamente. Quando a variabilidade entre os grupos segue a segunda forma, e é resultado apenas de indivíduos que fazem ajustes na roupa livremente para atender suas preferências térmicas, é aceitável a reprodução de um único valor médio que representa o isolamento da vestimenta de todo o grupo.

Para atividades quase sedentárias onde a taxa metabólica é de aproximadamente 1,2 met, o efeito da mudança de roupa no valor da temperatura operativa ótima é de aproximadamente 6 °C para cada unidade de clo. Por exemplo, a Tabela B.2 indica que ao adicionar um suéter fino manga longa em um conjunto de roupas, deve-se considerar aproximadamente um adicional de 0,25 clo.

A adição deste isolamento deve reduzir a temperatura operativa ótima em cerca de: 6°C/clo × 0,25 clo = 1,5°C. O efeito é maior quando a taxa de metabolismo é maior.

**Tabela B.1 — Isolamento da Vestimenta**

<b>Valores para Conjuntos de Roupas Típicos<sup>a</sup></b>		
<b>Descrição da Vestimenta</b>	<b>Roupas Inclusas<sup>b</sup></b>	<b><i>I<sub>cl</sub></i> (clo)</b>
Calças	Calça + Camisa manga curta	0,57
	Calça + Camisa manga longa	0,61
	#2 + Paletó	0,96
	#2 + Paletó + Colete + Camiseta	1,14
	#2 + Suéter manga longa + Camiseta	1,01
	#5 + Paletó + Ceroula	1,30
Saias/ Vestidos	Saia na altura dos joelhos + Camisa manga curta (sandálias)	0,54
	Saia na altura dos joelhos + Camisa manga longa + Combinação íntima	0,67
	Saia na altura dos joelhos + Camisa manga comprida + Meia combinação íntima + Suéter manga comprida	1,10
	Saia na altura dos joelhos + Camisa manga longa + Meia combinação íntima + Paletó	1,04
	Saia no comprimento do tornozelo + Camisa manga comprida + Paletó	1,10
Shorts	Shorts + Camisa manga curta	0,36
Macacões	Macacão manga comprida + Camiseta	0,72
	Macacão + Camisa manga comprida + Camiseta	0,89
	Macacão isotérmico + Roupa íntima comprida (térmico–corpo todo)	1,37
Atlética	Calça de moleton + Blusa de moleton manga longa	0,74
Pijamas	Camisa manga longa de pijama + Calça de pijama + Roupão <sup>3</sup> / <sub>4</sub> (Chinelos, sem meias)	0,96

<sup>a</sup> Dados provenientes do Capítulo 9 da versão de 2013 do ASHRAE *Handbook - Fundamentals*.  
<sup>b</sup> Todos os conjuntos de roupa, exceto onde indicado entre parênteses, incluem sapatos, meias, calcinhas ou cuecas. Todos os conjuntos de saias/vestidos incluem meia-calça, sem meias adicionais.

**Tabela B.2 — Isolamento das peças individuais de roupas<sup>a</sup>**

Descrição da Roupa <sup>b</sup>	<i>I<sub>clu</sub></i> (clo)	Descrição da Roupa <sup>b</sup>	<i>I<sub>clu</sub></i> (clo)
<b>Roupas Íntimas</b>		<b>Vestidos e Saias<sup>c</sup></b>	
Sutiã	0,01	Saia (fina)	0,14
Calcinha	0,03	Saia (grossa)	0,23
Cueca Masculina	0,04	Vestido fino, sem mangas	0,23
Camiseta	0,08	Vestido de malha, com mangas	0,27
Meia combinação Íntima	0,14	Vestido curto de algodão (estilo camisa)	0,29
Roupa Íntima Longa (Ceroulas)	0,15	Vestido comprido com mangas (fino)	0,33
Combinação Íntima	0,16	Vestido comprido com mangas (grosso)	0,47
Ceroula Completa (corpo todo)	0,20	<b>Suéters</b>	
<b>Calçados</b>		Colete/Suéter sem mangas (fino) <sup>d</sup>	0,13
Meia Soquetes	0,02	Colete/Suéter sem mangas (grosso) <sup>d</sup>	0,22
Meia-calça fina/Meias 7/8	0,02	Suéter manga longa (fino)	0,25
Sandálias/Chinelos	0,02	Suéter manga longa (grosso)	0,36
Sapatos	0,02	<b>Paletós e Coletes</b>	
Sapatos semiabertos (pantufas, sapatos de couro)	0,03	Colete (fino)	0,10
Meias médias (algodão)	0,03	Colete (grosso)	0,17
Meias compridas (algodão)	0,06	Paletó (fino)	0,36
Botas	0,10	Paletó (grosso)	0,44
<b>Camisas e Blusas</b>		Paletó fechado (fino)	0,42
Blusa sem mangas	0,12	Paletó fechado (grosso)	0,48
Camisa manga curta esportiva (estilo pólo)	0,17	<b>Pijamas e Robes</b>	
Camisa social manga curta	0,19	Camisola curta, sem mangas (fino)	0,18
Camisa social manga longa	0,25	Camisola comprida, sem mangas (fino)	0,20
Camisa de flanela manga longa	0,34	Vestido manga curta de hospital	0,31
Moleton manga longa	0,34	Roupão de verão curto (fino)	0,34
<b>Calças e Macacões</b>		Pijama manga curta (fino)	0,42
Shorts curto	0,06	Camisola de inverno comprida (grosso)	0,46
Shorts comprido	0,08	Robe manga longa de verão	0,48
Calça (fina)	0,15	Pijama de manda comprida (grosso)	0,57
Calça (grossa)	0,24	Robe manga comprida de inverno	0,69
Calça Moleton	0,28		
Macacão (jardineira)	0,30		
Macacão (fechado)	0,49		

<sup>a</sup> Dados provenientes do Capítulo 9 da versão de 2013do ASHRAE *Handbook – Fundamentals*  
<sup>b</sup> “Fino” se refere às roupas feitas com tecido fino/leve, utilizadas normalmente durante o verão.  
“Grosso” se refere às roupas feitas com tecido grosso/pesado, utilizado normalmente durante o inverno.  
<sup>c</sup> Saias no comprimento do joelho.  
<sup>d</sup> Coletes forrados.

**Tabela B.3 — Adição típica à vestimenta quando o usuário está sentado em uma cadeira**

(Válido para conjuntos de roupa com isolamento variando entre 0,5 clo $<I_{cl}$ < 1,2 clo)	
Cadeira simples <sup>a</sup>	0,00 clo
Cadeira metálica	0,00 clo
Cadeira de madeira com braços <sup>b</sup>	0,00 clo
Banco de madeira	+0,01 clo
Cadeira de escritório padrão	+0,10 clo
Cadeira executiva	+0,15 clo

<sup>a</sup> Cadeira feita com cordas finas espaçadas que não oferecem isolamento térmico. Incluída nesta lista apenas para fins comparativos.

<sup>b</sup> Cadeira usada na maior parte dos estudos básicos de conforto térmico que deram origem ao índice.



## Anexo C (Normativo) Programa computacional para cálculo do PMV/PPD

Equações básicas para o cálculo do Voto Médio Estimado (PMV) e a Percentagem de Insatisfeitos (PPD) com base nas equações da ISO 7730 (Anexo D), na sua forma original. Diferentes linguagens de programação podem ser utilizadas, mas os dados de saída devem ser verificados utilizando os valores de referência dados na Tabela C.1.

```
10 REM      ' Computer program (BASIC) for calculation of
20 REM      ' Predicted Mean Vote (PMV) and Predicted Percentage of Dissatisfaction (PPD)
30 REM      ' in accordance with ISO 7730
40 CLS:     Print "Data Entry"                : 'data entry
50 INPUT   " Clothing (clo)"                  ; CLO
60 INPUT   " Metabolic rate (met)"           ; MET
70 INPUT   " External work, normally around 0 (met)" ; WME
80 INPUT   " Air Temperature ( C )"          ; TA
90 INPUT   " Mean radiant temperature ( C )"  ; TR
100 INPUT  " Relative air velocity (m/s)"    : VEL
110 PRINT  " ENTER EITHER RH OR WATER VAPOR PRESSURE BUT NOT BOTH"
120 INPUT  " Relative humidity ( % )"        ; RH
130 INPUT  " Water vapor pressure (Pa)"      ; PA
140 DEF FNPS (T) = exp(16.6536-4030.183/(TA+235)) : ' saturated vapor pressure KPa
150 IF PA=0 THEN PA=RH*10*FNPS (TA)        : ' water vapor pressure, Pa
160 ICL = .155 * CLO                        : ' thermal insulation of the clothing in m²K/W
170 M = MET * 58.15                         : ' metabolic rate in W/m²
180 W = WME * 58.15                         : ' external work in W/m²
190 MW = M - W                              : ' internal heat production in the human body
200 IF ICL < .078 THEN FCL = 1 + 1.29 * ICL ELSE FCL = 1.05+645*ICL
205                                           : ' clothing area factor
210 HCF = 12.1*SQR (VEL)                    : ' heat transf. coefficient by forced convection
220 TAA = TA + 273                          : ' air temperature in Kelvin
230 TRA = TR + 273                          : ' mean radiant temperature in Kelvin

240 ' ----- CACULATE SURFACE TEMPERATURE OF CLOTHING BY ITERATION -----
250 TCLA = TAA + (35.5-TA) / (3.5*(6.45*ICL+.1))
255 ' first guess for surface temperature of clothing
260 P1 = ICL * FCL                          : ' calculation term
270 P2 = P1 * 3.96                          : ' calculation term
280 P3 = P1 * 100                           : ' calculation term
290 P4 = P1 * TAA                           : ' calculation term
300 P5 = 308.7 - .028 * MW +P2 * (TRA/100) ^ 4 : ' calculation term
310 XN = TCLA / 100
```



```
320 XF = XN
330 N =0                               : ' N: number of iterations
340 EPS = .00015                       : ' stop criteria in iteration
350 XF = (XF+XN) / 2
355 ' heat transf. coeff. by natural convection
360 HCN=2.38*ABS(100*XF-TAA)^.25
370 IF HCF<HCN THEN HC=HCF ELSE HC=HCN
380 XN=(P5+P4*HC-P2*XF^4) / (100+P3*HC)
390 N=N+1
400 IF N > 150 then go to 550
410 IF ABS(XN-XF) . EPS then go to 350
420 TCL=100*XN-273                     : ' surface temperature of the clothing

430 ' ----- HEAT LOSS COMPONENTS -----
435 " heat loss diff. through skin
440 HL1 = 3.05*.001*(5733-6.99*MW-PA)
445 ' heat loss by sweating (comfort)
450 IF MW > 58.15 THEN HL2 = .42 * (MW-58.15)
ELSE HL2 = 0!
455 ' latent respiration heat loss
460 HL3 = 1.7 * .00001 * M * (5867-PA)
465 ' dry respiration heat loss
470 HL4 = .0014 * M * (34-TA)
475 ' heat loss by radiation
480 HL5 = 3.96*FCL*(XN^4-(TRA/100)^4)
485 ' heat loss by convection
490 HL6 = FCL * HC * (TCL-TA)

500 ' ----- CALCULATE PMV AND PPD -----
505 ' thermal sensation trans. Coeff.
510 TS = .303 * EXP(-.036*M) + 0.28
515 ' predicted mean vote
520 PMV = TS * (MW-HL1-HL2-HL3-HL4-HL5-HL6)
525 ' predicted percentage dissat.
530 PPD=100-95*EXP(-.03353*PMV^4-.2179*PMV^2)
540 goto 570
550 PMV = 99999!
560 PPD=100
570 PRINT: PRINT "OUTPUT"
580 PRINT " Predicted Mean Vote (PMV) : "
:: PRINT USING "###.###"; PMV
590 PRINT " Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD) : "
:: PRINT USING "###.###": PPD
600 PRINT: INPUT "NEXT RUN (Y/N) " ; R$
610 If (R$="Y" or R$="y") THEN RUN
```



620 END

Tabela C.1 —Exemplo de dados de Entrada/Saída

Exemplo —Valores utilizados para gerar conforto na edificação da Figura 3.								
Run	Temp. Ar	RH	Temp. Radiante	Vel. Ar	Met.	CLO	PMV	PPD
#	°C	%	°C	m/s				%
1	19,6	86	19,6	0,10	1,1	1	-0,5	10
2	23,9	66	23,9	0,10	1,1	1	0,5	10
3	25,7	15	25,7	0,10	1,1	1	0,5	10
4	21,2	20	21,2	0,10	1,1	1	-0,5	10
5	23,6	67	23,6	0,10	1,1	0,5	-0,5	10
6	26,8	56	26,8	0,10	1,1	0,5	0,5	10
7	27,9	13	27,9	0,10	1,1	0,5	0,5	10
8	24,7	16	24,7	0,10	1,1	0,5	-0,5	10

## Anexo D

(Normativo)

# PROCEDIMENTOS PARA AVALIAÇÃO DO EFEITO RESFRIATIVO EM ESPAÇOS COM ALTA VELOCIDADE DO AR UTILIZANDO O SET

## D.1 Introdução

O método descrito na seção 5.3 requer que a zona gráfica para altas velocidades do ar seja utilizada quando a velocidade média do ar em um espaço for maior que 0,20 m/s. O modelo SET deve ser utilizado para contabilizar o efeito resfriativo da velocidade do ar nestas condições. Este anexo descreve os procedimentos de cálculo para a utilização do método da zona gráfica para altas velocidades do ar (5.3.3).

Para um determinado conjunto de variáveis ambientais e pessoais, incluindo a velocidade média do ar elevada, a temperatura média do ar e a temperatura radiante média, o SET deve ser então calculado. Em seguida, a velocidade média do ar deve ser substituída pelo valor de 0,1 m/s (ar parado) e a temperatura média do ar e a temperatura radiante ajustadas de acordo com o efeito resfriativo (CE). O CE da velocidade do ar elevada é o valor que, quando subtraído igualmente da temperatura média do ar e da temperatura radiante média, produz o mesmo SET sob o ar parado como no primeiro cálculo SET sob a condição com a velocidade do ar elevado. O PMV ajustado para um ambiente com elevada velocidade do ar deve ser calculado usando o valor de temperatura do ar ajustado, a temperatura radiante ajustada, e ainda a velocidade do ar parado (0,1 m/s). De forma resumida, o seguinte protocolo deve ser utilizado:

- a. Utilize os valores de temperatura média do ar ( $t_a$ ), temperatura radiante ( $t_r$ ), umidade relativa (UR), valor clo e taxa metabólica;
- b. Defina a velocidade média do ar ( $v_a$ );
- c. Observe o valor calculado do SET nos dados de saída;
- d. Reduza a velocidade média do ar para 0,1 m/s;
- e. Reduza a temperatura média do ar e a temperatura radiante em pequenos incrementos até que o SET seja igual ao valor indicado no passo (c);
- f. O valor de CE é definido a partir da quantidade pela qual a temperatura média do ar e a temperatura radiante foram reduzidas. O valor resultante da temperatura do ar é igual ao valor ajustado médio da temperatura do ar, e a temperatura radiante média resultante é igual ao valor médio ajustado da temperatura radiante.
- g. O PMV ajustado para a velocidade do ar elevada deve ser calculado utilizando as seguintes entradas:
  1. Valor ajustado da temperatura do ar do passo (f);
  2. Valor ajustado da temperatura radiante do passo (f);
  3. Velocidade média do ar parado, 0,1 m/s;
  4. Valor original da umidade relativa do ar;
  5. Valor original do clo;
  6. Valor original do met.

## D.2 Procedimento de cálculo

A descrição formal desse processo pode ser automatizada de acordo com o procedimento seguinte:

Suponha que  $t_a$  é a temperatura média do ar, e  $v_{elev}$  é a velocidade média do ar elevado, tal que  $v_{elev} > 0,1$  m/s. Considere  $v_{parado}$  igual a 0,1 m/s. Considere as funções PMV e SET, calculadas a partir de seis parâmetros, denotadas com a abreviação PMV ( $\cdot, *$ ) e SET ( $\cdot, *$ ). As variáveis de importância serão listadas



explicitamente, enquanto os parâmetros invariantes serão denotados por "\*\*\*". As variáveis listadas explicitamente são a temperatura média do ar ( $t_a$ ), temperatura radiante média ( $t_r$ ), velocidade média do ar ( $v_a$ ) e umidade relativa do ar (UR).

Para definir o CE, deve-se considerar que ele satisfaz a seguinte condição:

$$\text{SET}(t_a, t_r, v_{\text{elev}}, *) = \text{SET}(t_a - \text{CE}, t_r - \text{CE}, v_{\text{parado}}, *) \quad (\text{D.1})$$

Ou seja, a temperatura média do ar ajustada produz o mesmo SET produzido a partir da velocidade do ar parado, assim como a temperatura real do ar a partir da velocidade média do ar elevado. Para determinar o efeito resfriativo (CE), um método de busca de raiz iterativa como a bissecção ou o método secante pode ser empregado. A raiz da função parametrizada  $f(\text{ce})$  é o CE:

$$f(\text{ce}) = \text{SET}(t_a, t_r, v_{\text{elev}}, *) - \text{SET}(t_a - \text{ce}, t_r - \text{ce}, v_{\text{parado}}, *) \quad (\text{D.2})$$

O PMV ajustado é dado por:

$$\text{PMV}_{\text{ajust}} = \text{PMV}(t_a - \text{CE}, t_r - \text{CE}, v_{\text{parado}}, *) \quad (\text{D.3})$$

## D.2. Cálculo do índice SET

Algoritmo para o cálculo do índice SET de acordo com o Apêndice G da ASHRAE 55 (2013) e documentação para o modelo SET de Fountain e Huizenga (1995), na sua forma original. Para a utilização do SET nesta parte da norma, a função de auto geração do valor da velocidade do ar em função da taxa metabólica foi removida.

```
FindSaturatedVaporPressureTorr = function(T) {  
  //Helper function for pierceSET calculates Saturated Vapor Pressure (Torr) at Temperature T (°C)  
  return Math.exp(18.6686 - 4030.183/(T + 235.0));  
}  
pierceSET = function(TA, TR, VEL, RH, MET, CLO, WME, PATM) {  
  //Input variables – TA (air temperature): °C, TR (mean radiant temperature): °C, VEL (air velocity): m/s,  
  //RH (relative humidity): %, MET: met unit, CLO: clo unit, WME (external work): W/m2, PATM  
  (atmospheric pressure): kPa  
  var KCLO = 0.25;  
  var BODYWEIGHT = 69.9; //kg  
  var BODYSURFACEAREA = 1.8258; //m²  
  var METFACTOR = 58.2; //W/m²  
  var SBC = 0.000000056697; //Stefan-Boltzmann constant (W/m²K4)  
  var CSW = 170.0;  
  var CDIL = 120.0;
```



```
var CSTR = 0.5;
var LTIME = 60.0;
var VaporPressure = RH * FindSaturatedVaporPressureTorr(TA)/100.0;
var AirVelocity = Math.max(VEL, 0.1);
var TempSkinNeutral = 33.7;
var TempCoreNeutral = 36.49;
var TempBodyNeutral = 36.49;
var SkinBloodFlowNeutral = 6.3;
var TempSkin = TempSkinNeutral; //Initial values
var TempCore = TempCoreNeutral;
var SkinBloodFlow = SkinBloodFlowNeutral;
var MSHIV = 0.0;
var ALFA = 0.1;
var ESK = 0.1 * MET;
var PressureInAtmospheres = PATM * 0.009869;
var RCL = 0.155 * CLO;
var FACL = 1.0 + 0.15 * CLO;
var LR = 2.2/PressureInAtmospheres; //Lewis Relation is 2.2 at sea level
var RM = MET * METFACTOR;
var M = MET * METFACTOR;
if (CLO <= 0) {
    var WCRIT = 0.38 * Math.pow(AirVelocity, -0.29);
    var ICL = 1.0;
} else {
    var WCRIT = 0.59 * Math.pow(AirVelocity, -0.08);
    var ICL = 0.45;
}
var CHC = 3.0 * Math.pow(PressureInAtmospheres, 0.53);
var CHCV = 8.600001 * Math.pow((AirVelocity * PressureInAtmospheres), 0.53);
var CHC = Math.max(CHC, CHCV);
var CHR = 4.7;
var CTC = CHR + CHC;
var RA = 1.0/(FACL * CTC); //Resistance of air layer to dry heat transfer
var TOP = (CHR * TR + CHC * TA)/CTC;
var TCL = TOP + (TempSkin - TOP)/(CTC * (RA + RCL));
//TCL and CHR are solved iteratively using: H(Tsk - TOP) = CTC(TCL - TOP),
//where H = 1/(RA + RCL) and RA = 1/FACL*CTC
var TCL_OLD = TCL;
var flag = true;
var DRY, HFCS, ERES, CRES, SCR, SSK, TCSK, TCCR, DTSK, DTCR, TB, SKSIG,WARMS,
COLDS, CRSIG,WARMC, COLDC, BDSIG,WARMB, COLDB, REGSW, ERSW, REA, RECL, EMAX,
PRSW, PWET, EDIF, ESK;

for (var TIM = 1; TIM <= LTIME; TIM++) { //Begin iteration
    do {
```



```
if (flag) {
    TCL_OLD = TCL;
    CHR = 4.0 * SBC * Math.pow(((TCL + TR)/2.0 + 273.15), 3.0) * 0.72;
    CTC = CHR + CHC;
    RA = 1.0/(FACL * CTC); //Resistance of air layer to dry heat transfer
    TOP = (CHR * TR + CHC * TA)/CTC;
}
TCL = (RA * TempSkin + RCL * TOP)/(RA + RCL);
flag = true;
} while (Math.abs(TCL - TCL_OLD) > 0.01);
flag = false;
DRY = (TempSkin - TOP)/(RA + RCL);
HFCS = (TempCore - TempSkin) * (5.28 + 1.163 * SkinBloodFlow);
ERES = 0.0023 * M * (44.0 - VaporPressure);
CRES = 0.0014 * M * (34.0 - TA);
SCR = M - HFCS - ERES - CRES - WME;
SSK = HFCS - DRY - ESK;
TCSK = 0.97 * ALFA * BODYWEIGHT;
TCCR = 0.97 * (1 - ALFA) * BODYWEIGHT;
DTSK = (SSK * BODYSURFACEAREA)/(TCSK * 60.0); //°C/min
DTCR = SCR * BODYSURFACEAREA/(TCCR * 60.0); //°C/min
TempSkin = TempSkin + DTSK;
TempCore = TempCore + DTCR;
TB = ALFA * TempSkin + (1 - ALFA) * TempCore;
SKSIG = TempSkin - TempSkinNeutral;
WARMS = (SKSIG > 0) * SKSIG;
COLDS = ((-1.0 * SKSIG) > 0) * (-1.0 * SKSIG);
CRSIG = (TempCore - TempCoreNeutral);
WARMC = (CRSIG > 0) * CRSIG;
COLDC = ((-1.0 * CRSIG) > 0) * (-1.0 * CRSIG);
BDSIG = TB - TempBodyNeutral;
WARMB = (BDSIG > 0) * BDSIG;
SkinBloodFlow = (SkinBloodFlowNeutral + CDIL * WARMC)/(1 + CSTR * COLDS);
SkinBloodFlow = Math.max(0.5, Math.min(90.0, SkinBloodFlow));
REGSW = CSW * WARMB * Math.exp(WARMS/10.7);
REGSW = Math.min(REGSW, 500.0);
var ERSW = 0.68 * REGSW;
var REA = 1.0/(LR * FACL * CHC); //Evaporative resistance of air layer
var RECL = RCL/(LR * ICL); //Evaporative resistance of clothing (icl=.45)
var EMAX = (FindSaturatedVaporPressureTorr(TempSkin) - VaporPressure)/(REA + RECL);
var PRSW = ERSW/EMAX;
var PWET = 0.06 + 0.94 * PRSW;
var EDIF = PWET * EMAX - ERSW;
var ESK = ERSW + EDIF;
if (PWET > WCRIT) {
```



```
PWET = WCRIT;  
PRSW = WCRIT/0.94;  
ERSW = PRSW * EMAX;  
EDIF = 0.06 * (1.0 - PRSW) * EMAX;  
ESK = ERSW + EDIF;  
}  
if (EMAX < 0) {  
    EDIF = 0;  
    ERSW = 0;  
    PWET = WCRIT;  
    PRSW = WCRIT;  
    ESK = EMAX;  
}  
ESK = ERSW + EDIF;  
MSHIV = 19.4 * COLDS * COLDC;  
M = RM + MSHIV;  
ALFA = 0.0417737 + 0.7451833/(SkinBloodFlow + 0.585417);  
} //End iteration  
  
var HSK = DRY + ESK; //Total heat loss from skin  
var RN = M - WME; //Net metabolic heat production  
var ECOMF = 0.42 * (RN - (1 * METFACTOR));  
if (ECOMF < 0.0) ECOMF = 0.0; //From Fanger  
EMAX = EMAX * WCRIT;  
var W = PWET;  
var PSSK = FindSaturatedVaporPressureTorr(TempSkin);  
var CHRS = CHR; //Definition of ASHRAE standard environment  
//... denoted "S"  
  
if (MET < 0.85) {  
var CHCS = 3.0;  
} else {  
var CHCS = 5.66 * Math.pow(((MET - 0.85)), 0.39);  
CHCS = Math.max(CHCS, 3.0);  
}  
var CTCS = CHCS + CHRS;  
var RCLOS = 1.52/((MET - WME/METFACTOR) + 0.6944) - 0.1835;  
var RCLS = 0.155 * RCLOS;  
var FACLS = 1.0 + KCLO * RCLOS;  
var FCLS = 1.0/(1.0 + 0.155 * FACLS * CTCS * RCLOS);  
var IMS = 0.45;  
var ICLS = IMS * CHCS/CTCS * (1 - FCLS)/(CHCS/CTCS - FCLS * IMS);  
var RAS = 1.0/(FACLS * CTCS);  
var REAS = 1.0/(LR * FACLS * CHCS);  
var RECLS = RCLS/(LR * ICLS);  
var HD_S = 1.0/(RAS + RCLS);
```



```
var HE_S = 1.0/(REAS + RECLS);

//SET determined using Newton's iterative solution
var DELTA = .0001;
var dx = 100.0;
var SET, ERR1, ERR2;
var SET_OLD = TempSkin - HSK/HD_S;           //Lower bound for SET
while (Math.abs(dx) > .01) {
  ERR1 = (HSK - HD_S * (TempSkin - SET_OLD) -W * HE_S * (PSSK - 0.5 *
  FindSaturatedVaporPressureTorr(SET_OLD)));
  ERR2 = (HSK - HD_S * (TempSkin - (SET_OLD + DELTA)) -W * HE_S * (PSSK - 0.5 *
  FindSaturatedVaporPressureTorr((SET_OLD + DELTA)));
  SET = SET_OLD - DELTA * ERR1/(ERR2 - ERR1);
  dx = SET - SET_OLD;
  SET_OLD = SET;
}
return SET;
}
```

**Tabela D.2 — Tabela com valores calculados de SET para validação do modelo.**

Temp. do ar (°C)	TMR (°C)	Vel. do ar (°C)	UR (%)	Met	Clo	SET (°C)
25	25	0,15	50	1,0	0,5	23,9
0	25	0,15	50	1,0	0,5	12,3
10	25	0,15	50	1,0	0,5	17,0
15	25	0,15	50	1,0	0,5	19,3
20	25	0,15	50	1,0	0,5	21,6
30	25	0,15	50	1,0	0,5	26,2
40	25	0,15	50	1,0	0,5	33,6
25	25	0,15	10	1,0	0,5	23,3
25	25	0,15	90	1,0	0,5	24,4
25	25	0,10	50	1,0	0,5	24,0
25	25	0,60	50	1,0	0,5	21,4
25	25	1,10	50	1,0	0,5	20,4
25	25	3,00	50	1,0	0,5	18,8
25	10	0,15	50	1,0	0,5	15,2
25	40	0,15	50	1,0	0,5	31,9
25	25	0,15	50	1,0	0,1	20,7
25	25	0,15	50	1,0	1,0	27,2
25	25	0,15	50	1,0	2,0	32,6
25	25	0,15	50	1,0	4,0	38,0
25	25	0,15	50	0,8	0,5	23,3
25	25	0,15	50	2,0	0,5	29,8
25	25	0,15	50	4,0	0,5	35,9

## Anexo E (Informativo)

### Procedimentos para o cálculo de ganhos solares no conforto dos ocupantes

#### E.1 Procedimentos de cálculo

O ganho solar para o corpo humano pode ser calculado a partir de campo radiante efetivo (ERF – *Effective Radiante Field*), uma medida do fluxo de energia radiante líquida para/ou do corpo humano (2013 ASHRAE Handbook Fundamentals – Capítulo 9.24). O ERF é expresso em  $W/m^2$ , onde a "área" refere-se à área de superfície corporal. As temperaturas superficiais circundantes de um espaço são expressas como temperatura radiante média, que é igual à temperatura radiante média de onda longa quando não há radiação solar presente. O ERF no corpo humano proveniente da troca de ondas longas com as superfícies está relacionado de acordo com a seguinte equação:

$$ERF = f_{eff} \cdot h_r \cdot (\overline{t_{rlw}} - t_a) \quad (E.1)$$

onde

$f_{eff}$  é a fração da superfície do corpo exposta à radiação (= 0,696 para uma pessoa sentada e 0,725 para uma pessoa em pé);

$h_r$  é o coeficiente de transferência de calor por radiação ( $W/m^2.K$ )

$T_a$  é a temperatura do ar ( $^{\circ}C$ ).

O fluxo de energia realmente absorvido pelo corpo é ERF vezes a absorção de onda longa ( $\alpha_{LW}$ ) pela pele e vestimenta (0,95 é o valor padrão para pele e roupas). A irradiação solar absorvida na superfície do corpo pode ser equiparada a uma quantidade adicional de fluxo de ondas longas,  $ERF_{solar}$  por meio da equação:

$$\alpha_{LW} \cdot ERF_{solar} = \alpha_{SW} \cdot E_{solar} \quad (E2)$$

onde

$ERF_{solar}$  é o fluxo de radiação solar por onda curta na superfície do corpo ( $W/m^2$ );

$\alpha_{SW}$  é a absorvidade de onda curta;

$E_{solar}$  é a soma dos três fluxos que foram filtrados pelas propriedades de fenestração e geometria, e estão distribuídos na superfície do corpo: energia solar difusa proveniente da abóboda celeste ( $E_{diff}$ ), energia solar refletida para cima do chão ( $E_{refl}$ ) e energia solar de feixe direto proveniente diretamente do sol ( $E_{dir}$ ).

Estes fluxos são definidos de acordo com as equações E3, E4 e E5.

$$E_{diff} = 0,5 \cdot f_{eff} \cdot f_{svv} \cdot T_{sol} \cdot I_{diff} \quad (E3)$$

onde

$f_{svv}$  é a fração da abóboda celeste na visão do ocupante (ver Figura E1);

$I_{diff}$  é irradiação de céu difusa recebida em uma superfície horizontal voltada para cima ( $W/m^2$ );

$T_{sol}$  é a transmitância solar total, a proporção de radiação incidente de onda curta para a radiação de onda curta total que passa através da unidade de vidro e sombras de um sistema de janela.

A radiação refletida de superfícies naturais e construídas que sobressaem acima da linha do horizonte é assumida como igual ao  $I_{diff}$  que estas bloquearam. A irradiação solar externa total na horizontal é filtrada por  $T_{sol}$  e  $f_{svv}$  e multiplicada pela refletância do piso e mobiliários baixos ( $R_{floor}$ ).

$$E_{refl} = 0,5 \cdot f_{eff} \cdot f_{svv} \cdot T_{sol} \cdot I_{TH} \cdot R_{floor} \quad (D4)$$

onde

$I_{TH}$  é a irradiação radial total direta e difusa ao ar livre ( $W/m^2$ ); e a refletância do chão ( $R_{floor}$ ) é fixada em 0,6.

A irradiação direta normal é incidente apenas na fração projetada do corpo ( $f_p$ ), que depende da altitude solar  $\beta$ , do ângulo horizontal do sol em relação à parte frontal da pessoa (SHARP – *Sun's horizontal angle relative to the front of person*) e da postura (sentado ou em pé). Os valores de  $f_p$  estão tabulados no programa de computador na Seção E.3. A irradiação direta também é reduzida por qualquer sombreamento do corpo fornecido pelo ambiente interno, quantificado pela fração de exposição corporal (veja a Figura E2).

$$E_{dir} = f_p \cdot f_{eff} \cdot f_{bes} \cdot T_{sol} \cdot I_{dir} \quad (E5)$$

onde

$I_{dir}$  é a irradiação solar proveniente dos raios diretos (normal), ( $W/m^2$ ).

Os parâmetros de irradiação meteorológicos estão relacionados da seguinte forma:

$$I_{TH} = I_{dir} \cdot \text{sen}\beta + I_{diff}$$

Dado que  $I_{diff}$  é aproximadamente =  $0,175 I_{dir} \text{sen}\beta$ ;

O  $ERF_{solar}$  é, portanto, calculado a partir da equação E6.

$$ERF_{solar} = [0,5 \cdot f_{svv} (I_{diff} + 0,6 \cdot I_{TH}) + f_p \cdot f_{bes} \cdot I_{dir}] \cdot f_{eff} \cdot T_{sol} (\alpha_{SW} / \alpha_{LW}) \quad (E6)$$

Para obter o  $ERF_{solar}$  a partir da Equação E6, e os valores fixos pré-determinados acima, as entradas necessárias são  $f_{svv}$ ,  $I_{dir}$ ,  $f_{bes}$ ,  $T_{sol}$ ,  $\alpha_{SW}$ ,  $\beta$ , postura do ocupante e o ângulo horizontal do sol em relação à pessoa (SHARP). Estes são descritos mais adiante na Seção E.2. O  $ERF_{solar}$  deve ser convertido em temperatura radiante média de onda curta utilizando a Equação E1.

## E.2 Procedimentos de cálculo

O cálculo requer oito valores de entrada, conforme listado na Tabela E2 e de acordo com:

**a) Absorção de onda curta ( $\alpha_{SW}$ ):** a absorção de ondas curtas do ocupante variará amplamente, dependendo da cor da pele do ocupante, bem como a cor e quantidade de roupa cobrindo o corpo. Um valor de 0,7 deve ser usado, a não ser que existam informações mais específicas sobre a roupa ou a cor da pele dos ocupantes.

Nota: A absorção de ondas curtas geralmente varia de 0,57 a 0,84, dependendo da pele e da cor da roupa.

**b) Fração da abóboda celeste na visão do ocupante ( $f_{svv}$ ):** a fração varia entre 0 e 1, como mostrado na Tabela E3. É calculada a partir da Equação E7 para janelas de um lado. Esse valor depende das dimensões da janela (largura – w; e altura - h) e da distância “d” entre o ocupante e a janela.

$$f_{svv} = \frac{\tan^{-1}\left(\frac{h}{2d}\right) \cdot \tan^{-1}\left(\frac{w}{2d}\right)}{90 \cdot 180}$$

(E7)

onde a função *arctan* retorna valores em graus. Ao calcular  $f_{svv}$  para várias janelas, o  $f_{svv}$  de cada uma pode ser determinado, e, assim, somado para se obter um  $f_{svv}$  total. Os objetos externos que obstruem a abóboda celeste não devem ser considerados, já que eles possuem uma refletividade difusa semelhante à abóboda do céu.

**c) Transmitância solar total ( $T_{sol}$ ):** a transmitância solar total dos sistemas de janelas, incluindo a vidraça, persianas e outros tratamentos de fachada, deve ser determinada utilizando um dos seguintes métodos:

- A transmitância solar total do vidro ( $T_{sol}$ ) fornecida pelo fabricante ou do *National Fenestration Rating Council* é aprovada pela base de dados do *Lawrence Berkeley National Lab International Glazing*.
- A transmitância solar do vidro somada à transmitância solar do tecido de sombreamento interno deve ser calculada como o produto da unidade de vidro  $T_{sol}$  (no item a acima) e multiplicada pelo fator de abertura da sombra;
- A transmitância solar do vidro mais a transmitância solar do revestimento das persianas ou outros dispositivos de sombreamento complexos ou únicos deve ser calculada utilizando o software aprovado pelo *National Fenestration Rating Council* ou *Lawrence Berkeley National Lab Complex Glazing Database*.

Quando a radiação solar direta incidente em um ocupante representativo é transmitida por mais de um sistema de janela com diferentes transmitâncias solares, a transmitância solar  $T_{sol}$  que incide no ocupante deve ser calculada como a média ponderada da área da transmitância solar de cada sistema de janela.

**d) Irradiação solar direta normal ( $I_{dir}$ ):** os dados de irradiação solar direta para uma atmosfera padrão sem nuvens são apresentados na Tabela E4.

Nota: Na Seção E2d), o  $I_{dir}$  é baseado em elevação acima do nível do mar até 900m. Acima de 900m, é necessário aumentar esse valor em 12%; acima do valor de 1.200m, 15%; acima de 1500m, em 18%; e, acima de 1800 em 21%.

**e) Fração do corpo exposto à radiação do feixe solar ( $f_{bes}$ ):** fração do fator de área projetada ( $f_p$ ) do corpo que não é sombreada pelo quadro da janela, sombreamento interno ou externo ou ainda mobília interna. Ver Figura E2.

**f) Altitude solar ( $\beta$ ):** a altitude solar varia de 0 (horizonte) a 90 graus (zênite). Também chamada de "elevação solar". Ver Figura E3.

**g) Ângulo horizontal solar em relação à frente da pessoa (SHARP):** o ângulo horizontal solar em relação à posição frontal da pessoa varia de 0 a 180 graus, e é simétrico em ambos os lados. Zero (0) graus representa o raio direto a radiação frontal, 90 graus representa a radiação do raio direto do lado e 180 graus representam a radiação do raio direto da parte traseira. SHARP é o ângulo entre o sol e a pessoa apenas. A orientação relativa à bússola ou à sala não está incluída no SHARP. Ver Figura E3.

**h) Postura:** os ocupantes estão "sentados" e "em pé".



**Figura E.1- Fração da abóboda celeste em função do ângulo de visão do ocupante ( $f_{svv}$ )**

**Tabela E.1 – Símbolos e unidades do presente anexo**

Símbolo	Descrição	Unidade
ERF	campo radiante efetivo	W/m <sup>2</sup>
$f_{eff}$	fração da superfície do corpo exposta à radiação	-
$h_r$	coeficiente de transferência de calor por radiação	W/m <sup>2</sup> .K
$t_a$	temperatura do ar	°C
$\alpha_{LW}$	absortividade de onda longa	-
$\alpha_{SW}$	absortividade de onda curta	-
ERF <sub>solar</sub>	fluxo de radiação solar por onda curta na superfície do corpo	W/m <sup>2</sup>
E <sub>solar</sub>	fluxo solar radiante de onda curta total	W/m <sup>2</sup>
E <sub>dir</sub>	componente de feixe direto do fluxo radiante solar de onda curta	W/m <sup>2</sup>
E <sub>diff</sub>	energia solar difusa proveniente da abóboda celeste	W/m <sup>2</sup>
E <sub>refl</sub>	energia solar refletida para cima do chão	W/m <sup>2</sup>
$f_{svv}$	fração da abóboda celeste na visão do ocupante	-
T <sub>sol</sub>	Transmitância solar total	-
I <sub>dir</sub>	irradiação solar direta normal	W/m <sup>2</sup>
I <sub>diff</sub>	irradiação de céu difusa recebida em uma superfície horizontal voltada para cima	W/m <sup>2</sup>
I <sub>TH</sub>	irradiação radial total direta e difusa ao ar livre	W/m <sup>2</sup>
$f_p$	fator de área projetada	-
$f_{bes}$	fração da superfície corporal exposta ao sol	-
$\beta$	ângulo de altitude solar	graus
SHARP	ângulo horizontal solar em relação à frente da pessoa	graus
R <sub>floor</sub>	refletância do piso (fixo em 0,6)	-
	postura (sentado ou em pé)	-

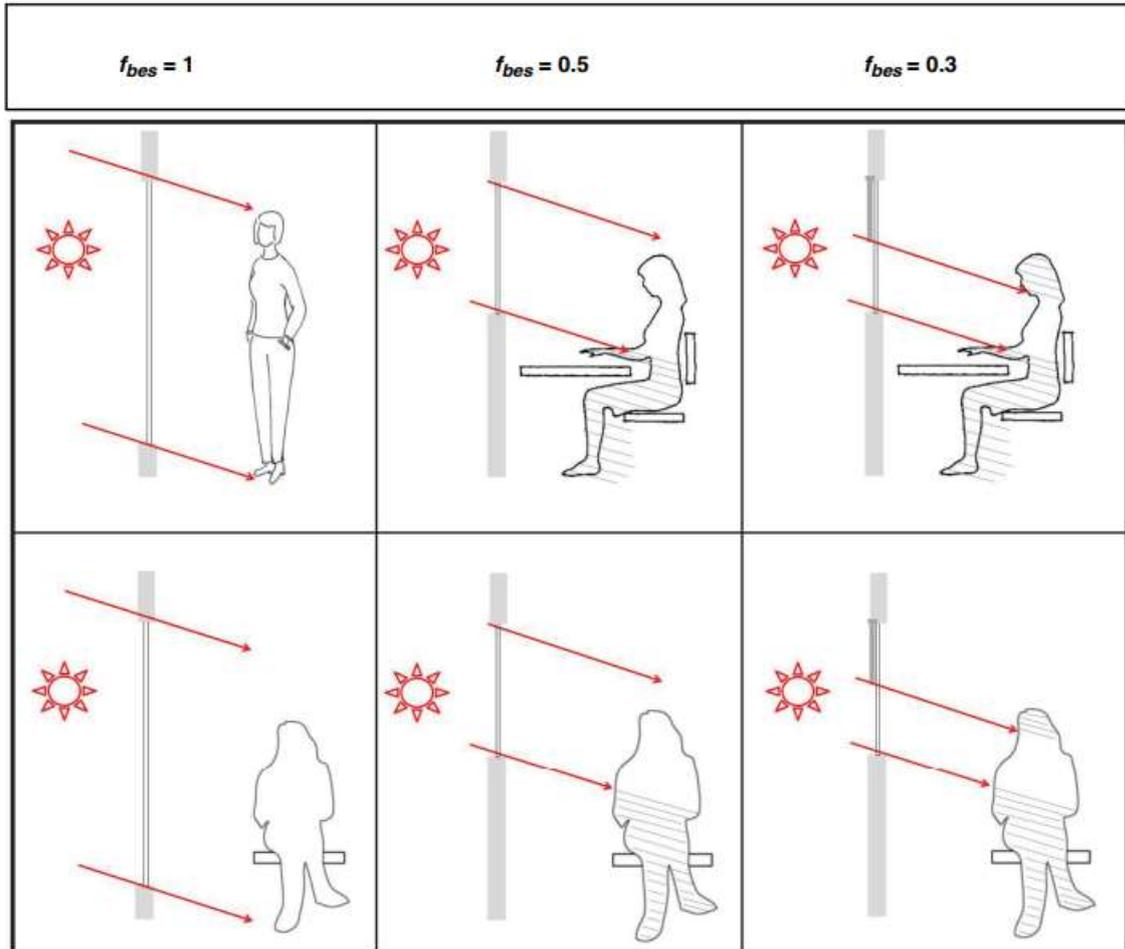


Figura E.2- Fração do corpo exposto ao sol ( $f_{bes}$ ) não incluindo o auto sombreamento do corpo. É aceitável simplificar o  $f_{bes}$  para igualar a fração da distância entre a cabeça e os pés expostos ao sol direto

Nota: 1,0 é o maior valor possível para o  $f_{bes}$ , já que o auto sombreamento do corpo não está incluído no  $f_{bes}$ .

Tabela E.2 – Variáveis de entrada e intervalos para o procedimento de cálculo

Símbolo	Descrição	Unidade	Default permitido	Intervalo permitido
$\alpha_{sw}$	absortividade de onda curta	-	0,7	0,2 a 0,9
$f_{sv}$	fração da abóboda celeste na visão do ocupante	-	N/A	0 a 1
$T_{sol}$	Transmitância solar total	-	N/A	0 a 1
$I_{dir}$	irradiação solar direta normal	W/m <sup>2</sup>	900	200 a 1000
$f_{bes}$	fração da superfície corporal exposta ao sol	-	N/A	0 a 1
$\beta$	ângulo de altitude solar	graus	N/A	0 a 90
SHARP	ângulo horizontal solar em relação à frente da pessoa	graus	N/A	0 a 80
	Postura	-	N/A	Sentado/Em pé

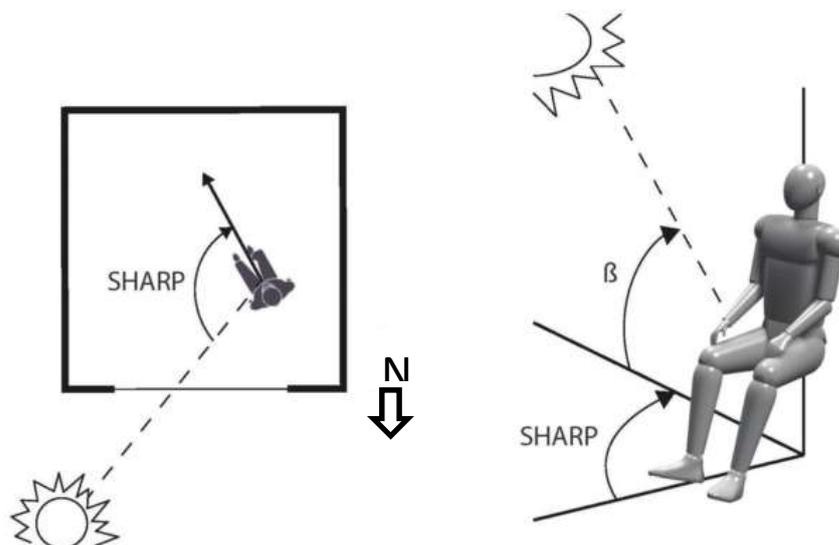


Figura E.3 - Ângulo horizontal solar em relação à frente da pessoa (SHARP) e à altitude solar  $\beta$

Tabela E.3 – Fração da abóboda celeste na visão do ocupante para geometria de janela de um lado e localização do ocupante

largura da janela (m)	9,1	45,5	9,1	45,5	9,1	45,5	9,1	45,5	1,8	1,8	1,8	1,2	1,2
altura da janela (m)	3,0	3,0	1,8	1,8	3,0	3,0	1,8	1,8	2,7	1,8	1,8	1,2	1,2
distancia a partir da janela para o ocupante (m)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,8	1,8	1,8	1,8	1,0	1,0	1,8	1,0	1,8
$f_{svv}$	27%	31%	20%	23%	17%	21%	11%	14%	14%	11%	4%	6%	2%

Tabela E.4 – Valores de radiação solar de fluxo direto para uma atmosfera sem nuvem padrão, por altitude solar

ângulo de altitude solar ( $\beta$ ), graus	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90
irradiação solar direta normal ( $I_{dir}$ ), W/m <sup>2</sup>	210	390	620	740	810	860	890	910	920	925

### E.3 Programa computacional para o cálculo de ganhos solares no conforto dos ocupantes

```
function find_span(arr, x){
    // for ordered array arr and value x, find the left index
    // of the closed interval that the value falls in.
    for (var i = 0; i < arr.length - 1; i++){
        if (x <= arr[i+1] && x >= arr[i]){
            return i;
        }
    }
    return -1;
}

function get_fp(alt, sharp, posture){
    // This function calculates the projected sunlit fraction (fp)
    // given a seated or standing posture, a solar altitude, and a
    // solar horizontal angle relative to the person (SHARP). fp
    // values are taken from Thermal Comfort, Fanger 1970, Danish
    // Technical Press.

    // alt : altitude of sun in degrees [0, 90] (beta) Integer
    // sharp : sun's horizontal angle relative to person
    // in degrees [0, 180] Integer
    var fp;
    var alt_range = [0, 15, 30, 45, 60, 75, 90];
    var sharp_range = [0, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135, 150, 165, 180];

    var alt_i = find_span(alt_range, alt);
    var sharp_i = find_span(sharp_range, sharp);
    if (posture == 'standing'){
        var fp_table = [[0.35,0.35,0.314,0.258,0.206,0.144,0.082],
            [0.342,0.342,0.31,0.252,0.2,0.14,0.082],
            [0.33,0.33,0.3,0.244,0.19,0.132,0.082],
            [0.31,0.31,0.275,0.228,0.175,0.124,0.082],
            [0.283,0.283,0.251,0.208,0.16,0.114,0.082],
            [0.252,0.252,0.228,0.188,0.15,0.108,0.082],
            [0.23,0.23,0.214,0.18,0.148,0.108,0.082],
            [0.242,0.242,0.222,0.18,0.153,0.112,0.082],
            [0.274,0.274,0.245,0.203,0.165,0.116,0.082],
            [0.304,0.304,0.27,0.22,0.174,0.121,0.082],
            [0.328,0.328,0.29,0.234,0.183,0.125,0.082],
            [0.344,0.344,0.304,0.244,0.19,0.128,0.082],
            [0.347,0.347,0.308,0.246,0.191,0.128,0.082]];
    } else if (posture == 'seated'){
        var fp_table = [[0.29,0.324,0.305,0.303,0.262,0.224,0.177],
            [0.292,0.328,0.294,0.288,0.268,0.227,0.177],
            [0.288,0.332,0.298,0.29,0.264,0.222,0.177],
            [0.274,0.326,0.294,0.289,0.252,0.214,0.177],
            [0.254,0.308,0.28,0.276,0.241,0.202,0.177],
            [0.23,0.282,0.262,0.26,0.233,0.193,0.177],
            [0.216,0.26,0.248,0.244,0.22,0.186,0.177],
            [0.234,0.258,0.236,0.227,0.208,0.18,0.177],
            [0.262,0.26,0.224,0.208,0.196,0.176,0.177],
            [0.28,0.26,0.21,0.192,0.184,0.17,0.177],
            [0.298,0.256,0.194,0.174,0.168,0.168,0.177],
            [0.306,0.25,0.18,0.156,0.156,0.166,0.177],
            [0.3,0.24,0.168,0.152,0.152,0.164,0.177]];
    }
    var fp11 = fp_table[sharp_i][alt_i];
    var fp12 = fp_table[sharp_i][alt_i+1];
    var fp21 = fp_table[sharp_i+1][alt_i];
}
```

```
var fp22 = fp_table[sharp_i+1][alt_i+1];

var sharp1 = sharp_range[sharp_i];
var sharp2 = sharp_range[sharp_i+1];
var alt1 = alt_range[alt_i];
var alt2 = alt_range[alt_i+1];

// bilinear interpolation
fp = fp11 * (sharp2 - sharp) * (alt2 - alt);
fp += fp21 * (sharp - sharp1) * (alt2 - alt);
fp += fp12 * (sharp2 - sharp) * (alt - alt1);
fp += fp22 * (sharp - sharp1) * (alt - alt1);
fp /= (sharp2 - sharp1) * (alt2 - alt1);

return fp;
}

function ERF(alt, sharp, posture, Idir, tsol, fsvv, fbes, asa){
  // ERF function to estimate the impact of solar
  // radiation on occupant comfort
  // INPUTS:
  // alt : altitude of sun in degrees [0, 90]
  // sharp : sun's horizontal angle relative to person
  //         in degrees [0, 180]
  // posture: posture of occupant ('seated' or 'standing')
  // Idir : direct beam intensity (normal)
  // tsol: total solar transmittance (SC * 0.87)
  // fsvv : sky vault view fraction : fraction of sky vault
  //         in occupant's view [0, 1]
  // fbes : fraction body exposed to sun [0, 1]
  // asa : average shortwave
  //         absorptivity of body [0, 1] (alpha_sw)

  var DEG_TO_RAD = 0.0174532925;
  var hr = 6;
  var Idiff = 0.175 * Idir * Math.sin(alt * DEG_TO_RAD);

  var fp = get_fp(alt, sharp, posture);

  if (posture=='standing'){
    var feff = 0.725;
  } else if (posture=='seated'){
    var feff = 0.696;
  } else {
    console.log("Invalid posture (choose seated or standing)");
    return;
  }

  var sw_abs = asa;
  var lw_abs = 0.95;

  var E_diff = 0.5 * feff * fsvv * tsol * Idiff;
  var E_direct = fp * feff * fbes * tsol * Idir;
  var E_refl = 0.5 * feff * fsvv * tsol * (Idir * Math.sin(alt * DEG_TO_RAD) + Idiff)
  * 0.6;

  var E_solar = E_diff + E_direct + E_refl;
  var ERF = E_solar * (sw_abs / lw_abs);
  var trsw = ERF / (hr * feff);

  return {"ERF": ERF, "trsw": trsw};
}
```



Tabela E.5 — Tabela com valores calculados de SET para validação do modelo.

Alt	SHARP	postura	$l_{dir}$	$T_{sol}$	$f_{svv}$	$f_{bes}$	asa	ERF	$t_{rsw}$
0	120	sentado	800	0,5	0,5	0,5	0,7	26,9	6,4
60	120	sentado	800	0,5	0,5	0,5	0,7	59,2	14,2
90	120	sentado	800	0,5	0,5	0,5	0,7	63,3	15,2
30	0	sentado	800	0,5	0,5	0,5	0,7	53,8	12,9
30	30	sentado	800	0,5	0,5	0,5	0,7	53,1	12,7
30	60	sentado	800	0,5	0,5	0,5	0,7	51,3	12,3
30	90	sentado	800	0,5	0,5	0,5	0,7	48,0	11,5
30	150	sentado	800	0,5	0,5	0,5	0,7	42,5	10,2
30	180	sentado	800	0,5	0,5	0,5	0,7	39,8	9,5
30	120	em pé	800	0,5	0,5	0,5	0,7	49,7	11,4
30	120	sentado	400	0,5	0,5	0,5	0,7	22,8	5,5
30	120	sentado	600	0,5	0,5	0,5	0,7	34,2	8,2
30	120	sentado	1000	0,5	0,5	0,5	0,7	56,9	13,6
30	120	sentado	800	0,5	0,5	0,5	0,7	9,1	2,2
30	120	sentado	800	0,1	0,5	0,5	0,7	27,3	6,5
30	120	sentado	800	0,3	0,5	0,5	0,7	63,8	15,3
30	120	sentado	800	0,7	0,5	0,5	0,7	27,5	6,6
30	120	sentado	800	0,5	0,1	0,5	0,7	36,5	8,7
30	120	sentado	800	0,5	0,3	0,5	0,7	54,6	13,1
30	120	sentado	800	0,5	0,7	0,5	0,7	27,2	6,5
30	120	sentado	800	0,5	0,5	0,1	0,7	36,4	8,7
30	120	sentado	800	0,5	0,5	0,3	0,7	54,7	13,1
30	120	sentado	800	0,5	0,5	0,7	0,3	19,5	4,7
30	120	sentado	800	0,5	0,5	0,5	0,5	32,5	7,8
30	120	sentado	800	0,5	0,5	0,5	0,9	58,6	14,0
30	120	sentado	800	0,5	0,5	0,5	0,7	45,5	10,9

## Anexo F (Informativo) Desconforto térmico localizado

Evitar o desconforto térmico local de ocupantes, muitas vezes causado por uma diferença na temperatura no sentido vertical entre a cabeça e os pés, ou por um campo de assimetria radiante, resfriamento local convectivo (correntes de ar), ou pelo contato da pele com um piso frio ou quente, é essencial para promover conforto térmico.

Os requisitos especificados na Seção 5.3.4 desta parte da norma se aplicam diretamente às pessoas com baixo isolamento da vestimenta (clo entre 0,5 e 0,7), e que desenvolvem atividades próximas ao nível “sedentário” de taxa metabólica (met entre 1,0 e 1,3). Quando a taxa metabólica é superior a este intervalo, os ocupantes apresentam menor sensibilidade térmica, e conseqüentemente, o risco de desconforto térmico local é menor. No entanto, é aceitável utilizar os limites aqui estabelecidos, para taxas metabólicas maiores e isolamentos de vestimenta maiores, desde que os valores dos limites sejam mais conservativos. É importante frisar que as pessoas são mais sensíveis ao desconforto local quando o corpo está mais frio que o neutro, e menos sensíveis quando o corpo estiver mais quente que o neutro. Os requisitos desta seção estão baseados em temperaturas mais próximas do centro da zona de conforto. Os requisitos se aplicam a toda zona, mas serão mais conservativos perto dos limites superiores de temperatura da zona de conforto, podendo subestimar perto dos limites inferiores de temperatura da zona de conforto.

A Tabela F.1 especifica o percentual esperado de insatisfeitos ( $PPD_L$ ) para cada tipo de desconforto térmico local descrito nas Seções 5.3.4.2 até a 5.3.4.4. Todos os critérios de desconforto térmico local da Tabela F.1 devem ser atendidos simultaneamente para que o ambiente atenda a esta parte da norma.

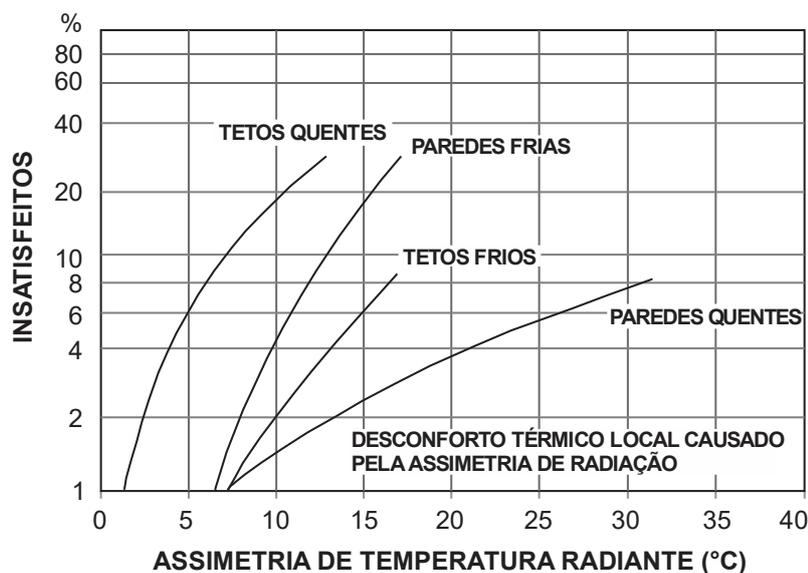
**Tabela F.1 — Percentagem limite de insatisfeitos ( $PPD_L$ ) devido ao desconforto local**

$PPD_L$ devido às correntes de ar para temperaturas operativas abaixo de 22,5	$PPD_L$ devido ao gradiente na temperatura vertical	$PPD_L$ devido aos pisos quentes ou frios	$PPD_L$ devido à assimetria no campo radiante
< 20 %	< 5 %	< 10 %	< 5 %

### F.1 Assimetria da temperatura radiante

O campo radiante ao redor de uma pessoa pode ser assimétrico devido às superfícies frias ou quentes, ou radiação solar direta. Esta assimetria pode causar desconforto localizado e reduzir a aceitabilidade térmica do ambiente. Em geral, as pessoas são mais sensíveis às assimetrias causadas por tetos quentes do que às paredes quentes ou frias. A Figura F.1 apresenta os valores percentuais de ocupantes insatisfeitos em função da assimetria na temperatura radiante causada por tetos quentes, paredes frias, tetos frios e paredes quentes.

Os limites para assimetria na temperatura radiante são especificados na Tabela F.2. Alternativamente, pode-se usar a Figura F.1 em conjunto com os limites de  $PPD_L$  da Tabela F.1 para determinação da assimetria permitida.



**Figura F.1 — Desconforto térmico local causado pela assimetria na temperatura radiante**

**Tabela F.2 — Assimetria máxima permitida na temperatura radiante**

Assimetria na temperatura radiante (°C)			
Teto quente	Parede fria	Teto frio	Parede quente
< 5	< 10	< 14	< 23

## F.2 Convecção localizada

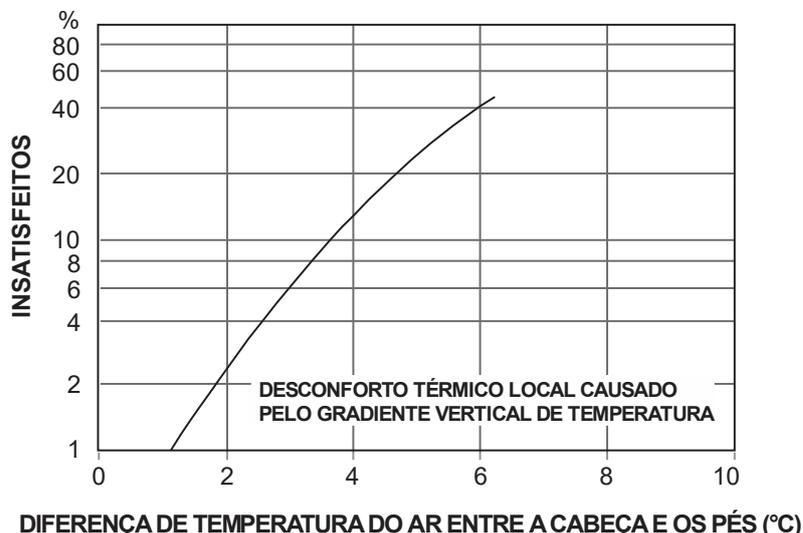
O resfriamento localizado causado pelo deslocamento do ar quando o corpo está abaixo da temperatura neutra pode causar desconforto. Este desconforto depende da velocidade do ar, temperatura do ar, atividade e vestimenta. A sensibilidade é maior onde a pele não tiver cobertura da vestimenta (cabeça e pescoço).

Para temperaturas operativas abaixo de 22,5 °C a velocidade máxima do ar para a zona de conforto não deve exceder 0,15 m/s em qualquer local do corpo. Este limite se aplica ao deslocamento do ar causado por janelas e sistema de ar condicionado. É aceitável que a velocidade do ar exceda estes limites, desde que os ocupantes tenham controle local, como estabelecido na Seção 5.3.3.3.

## F.3 Gradiente vertical de temperatura

A estratificação térmica, que resultante de valores de na temperatura mais alta ao nível da cabeça que dos tornozelos, podendo causar desconforto térmico localizado. A Figura F.2 apresenta o percentual predito de insatisfeitos em função da diferença de temperatura do ar entre a cabeça e os tornozelos. Temperaturas mais baixas ao nível da cabeça são raras, e percebidas como favoráveis pelos usuários, mas não são utilizadas nesta parte da Norma.

Existem duas opções para determinar a diferença aceitável entre a temperatura no nível da cabeça e dos tornozelos: utilizando-se a Tabela F.3, ou a Figura F.2 em conjunto com a Tabela F.1.



**Figura F.2 — Desconforto térmico local causado pelo gradiente de temperatura vertical**

**Tabela F.3 — Gradiente de temperatura vertical permitido entre cabeça e tornozelos**

Gradiente de temperatura vertical (°C)
< 3

#### F.4 Temperatura superficial do piso

As pessoas podem sentir desconforto devido ao contato com pisos muito quentes ou muito frios. A temperatura do piso (e não o material do piso) é o fator mais importante para o conforto térmico dos pés de pessoas que estão utilizando calçados. A Figura F.3 mostra a porcentagem de pessoas insatisfeitas em função da temperatura do piso.

O critério desta Seção se baseia nas pessoas utilizando calçados leves. É aceitável usar este critério para pessoas usando calçados mais pesados, de uso típico no exterior, o que seria mais conservativo. Esta parte da Norma não se aplica a pessoas descalças nem sentadas no piso.

Os limites para temperatura do piso são especificados na Tabela F.4, mas alternativamente, pode-se utilizar a Figura F.3 em conjunto com a Tabela F.1 para determinação da faixa de temperatura aceitável.

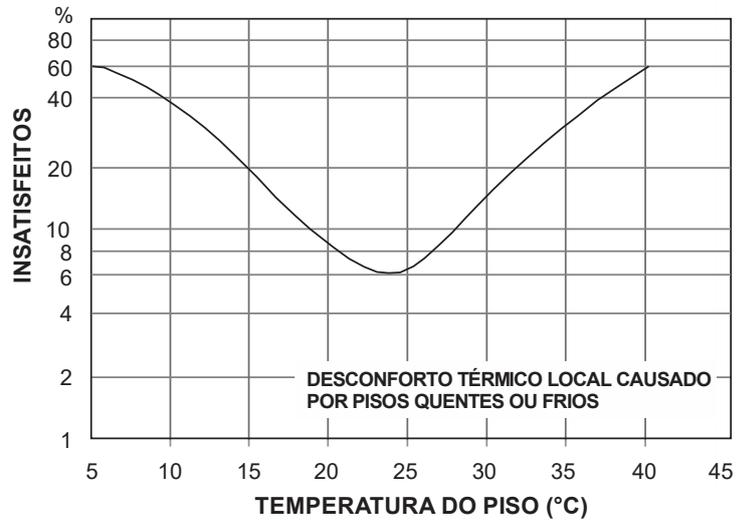


Figura F.3 —Desconforto térmico local causado por pisos quentes ou frios

Tabela F.4—Faixa de temperaturas permitidas

Faixa de temperaturas permitidas no piso (°C)
19 – 29

## **Anexo G** (Informativo) **Levantamento e questionário para avaliação do ambiente térmico**

### **G.1 Medições físicas**

Neste caso, as medições dos parâmetros ambientais internos são convertidas em predições da satisfação térmica dos ocupantes por meio de cálculos e testes confrontados com os limites de conforto.

- a) No método baseado em votação média (PMV) (ver Seção 5.3.2), as variáveis ambientais são combinadas com a estimativa da vestimenta e nível de atividade. Desta forma, calcula-se o PMV, que representará o valor médio da sensação térmica de um ocupante ou um grupo de ocupantes. Em qualquer nível de PMV determinado, a proporção de pessoas insatisfeitas de uma população pode ser predita a partir da curva da porcentagem de insatisfeitos (PPD). Este é um resultado empírico da sensação térmica, que foram obtidos por meio de pesquisas em uma variedade de ambientes de teste onde a insatisfação foi assumida no intervalo de valores absolutos a partir de  $\pm 2$ , ou maior. Com este método, um PMV de  $\pm 0,5$  prediz 90% de uma população satisfeita, ou um PPD a 10%. No entanto, na grande maioria dos edifícios essa classificação de 90% de pessoas satisfeitas raramente é obtida, e geralmente ocorre em torno de 80%. A diferença foi atribuída ao desconforto percebido nas partes locais do corpo. A probabilidade de desconforto local é predita testando-se os parâmetros ambientais medidos em locais sensíveis *versus* os limites determinantes empiricamente. Taxas de mudança de temperatura também são limitadas para evitar desconforto. Os efeitos de desconforto local são assumidos como um adicional de 10% no PPD, de modo que o PPD total esperado em um edifício com PMV  $\pm 0,5$  deve ser de 20%.
- b) No método adaptativo voltado para os espaços naturalmente ventilados, as medidas ambientais estão ligadas à satisfação por meio de um modelo empírico no qual a temperatura média predominante do ar externo determina a posição dos limites superior e inferior de pessoas satisfeitas que fazem fronteira com a zona de conforto. Neste método os limites de desconforto térmico local não são utilizados.

### **G.2 Levantamento de variáveis subjetivas**

A utilização de questionários nas pesquisas de conforto térmico é uma forma aceitável de avaliação para que se alcancem os limites de aceitabilidade discutidos nesta parte da Norma. Utilizando estas pesquisas é possível prever a porcentagem de ocupantes que estão “satisfeitos” ou que consideram o ambiente aceitável e/ou confortável. Por meio da aplicação de questionários é possível se obterem resultados mais reais do que aqueles obtidos utilizando os modelos de conforto. No entanto, estas pesquisas não podem ser feitas em todos os casos por exigirem tempo, planejamento prévio e abordagem de comunicação. Uma boa pesquisa de campo deve pesar a quantidade de tempo e frequência de medição.

As pesquisas devem buscar uma amostra de tamanho significativo, com uma taxa de resposta de no mínimo 50 %, buscando refletir todo o espaço ocupado do edifício. Uma boa amostragem combinada a uma taxa de resposta adequada ( $\cong 75$  %) ajuda a diminuir o risco de generalização quando o levantamento é feito em uma edificação com diversas instalações. Embora nenhuma taxa de resposta seja especificada nesta parte da Norma, deve-se garantir que as respostas venham de ocupantes representativos de toda a população de interesse.

Pesquisas de satisfação com relação ao ambiente térmico são ferramentas de grande valor na avaliação de edifícios e instalações existentes, funcionando como uma espécie de diagnóstico (voz do edifício), cujo

objetivo é trazer ao projetista uma visão detalhada do que acontece dentro da edificação no seu dia-a-dia, valendo-se da opinião (feedback) dos ocupantes.

Existem dois tipos de pesquisas relacionadas ao ambiente térmico como se observa logo abaixo. Em ambos os tipos as principais perguntas estão ligadas ao conforto térmico, mas existem outras perguntas que podem ajudar a identificar problemas e formular possíveis respostas.

1. As pesquisas pontuais ou “instantâneas” ou “point-in-time” são utilizadas para avaliação da sensação térmica dos ocupantes em determinado ponto no tempo. Alguns pesquisadores têm utilizado esse tipo de levantamento para correlacionar conforto térmico com os fatores ambientais do PMV/PPD: taxa metabólica, a vestimenta, temperatura do ar, temperatura radiante, velocidade do ar e umidade.

Uma amostra do questionário utilizado neste tipo de pesquisa está inclusa neste Anexo.

O documento busca avaliar a sensação térmica dos ocupantes com base na escala de sete pontos da ASHRAE (“muito quente” até “muito frio”). A sensação de conforto ou a porcentagem estimada de insatisfeitos (PPD) não levantados diretamente pode ser extrapolada a partir dos votos de sensação térmica. É possível, no entanto, perguntar diretamente ao ocupante: “Este ambiente é termicamente aceitável?” utilizando a escala “aceitável” ou “inaceitável”, ou até mesmo: “Este ambiente é termicamente confortável?”. Por vezes, as escalas de preferência para temperatura e velocidade do ar são também utilizadas, sendo comumente encontradas na base de dados do RP-884 da ASHRAE: “Você prefere estar: mais “frio, não mudar ou mais quente” ou “Você prefere: menor velocidade do ar, não mudar ou maior velocidade do ar”.

Para que os resultados da pesquisa sejam aplicáveis para a análise de intervalos de aceitabilidade, é necessária a implementação do método sob várias condições térmicas, ao longo do tempo e em diferentes modos de operação do edifício. A dificuldade na organização de um número grande de dados provenientes da medição instantânea em ambientes de trabalho normalmente limita a utilização deste método, o que pode mudar com o advento de questionários online e aplicativos.

2. As pesquisas de “satisfação” são utilizadas para avaliar as respostas dos ocupantes com relação ao espaço em geral dentro de um intervalo de tempo determinado. Ao invés de avaliar as sensações térmicas junto às medições das variáveis ambientais (e indiretamente a porcentagem de pessoas insatisfeitas), este tipo de pesquisa foca nas respostas de satisfação com relação ao ambiente térmico e instrumentos de controle.

Um modelo de questionário utilizado nas pesquisas de satisfação é apresentado no Anexo E; nele, os ocupantes são solicitados a avaliar o ambiente térmico (com respostas que variam entre “satisfeito” a “insatisfeito”) considerando uma escala de sete pontos de satisfação. A aceitabilidade é determinada por meio da porcentagem de ocupantes que assinalaram sua resposta no intervalo que vai de “neutro” até “satisfeito”.

A premissa básica deste tipo de pesquisa é a natureza das respostas dos ocupantes, podendo recordar períodos ou casos de desconforto térmico, identificando padrões de operação dos sistemas de climatização e envoltória. Desta maneira, os ocupantes fornecem informações “globais” ou “gerais” de voto com relação ao conforto térmico em seu ambiente. O inspetor que realiza a pesquisa deve indicar um espaço de tempo para que os entrevistados considerem em suas respostas. Os resultados de uma pesquisa realizada sob um modo de operação do edifício, ou em determinada estação do ano, não devem ser extrapolados ou generalizados para diferentes modos de operação ou ano.

Perguntas para identificar a natureza (causas) da insatisfação térmica podem ser incluídas em pesquisas de satisfação (por exemplo, questões 9a a 9e na Figura F2).



Por considerar determinados “intervalos de tempo”, esse tipo de pesquisa deve ser realizada periodicamente, podendo ser feita a cada seis meses ou repetida nas estações de aquecimento ou resfriamento. É recomendado que a primeira pesquisa de satisfação seja feita pelo menos seis meses após a ocupação do edifício para que sejam identificados, e assim evitados, os problemas e as reclamações decorrentes.

Nota: Quanto mais longo for o período coberto pela pesquisa, menor é a precisão dos resultados. Os ocupantes são solicitados a recordar suas experiências anteriores, sendo suas respostas geralmente ponderadas pelas suas experiências mais recentes.

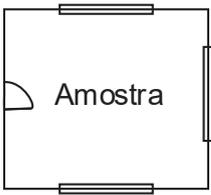


### G.1 Modelo de questionário para as pesquisas de conforto térmico instantâneas

Data:		Hora:	
1. Registre os seguintes dados pessoais:			
Sexo: <input type="checkbox"/> Feminino <input type="checkbox"/> Masculino		Idade:	
Peso:		Altura:	
2. Qual tipo de atividade você exerce neste ambiente, e por quanto tempo?			
3. Qual é a sua sensação térmica neste momento? (Assinale a alternativa mais apropriada) <b>Nota:</b> Esta escala deve ser utilizada para que o padrão desta parte da norma seja mantido.			
<input type="checkbox"/> Com muito calor			
<input type="checkbox"/> Com calor			
<input type="checkbox"/> Levemente com calor			
<input type="checkbox"/> Neutro			
<input type="checkbox"/> Levemente com frio			
<input type="checkbox"/> Com frio			
<input type="checkbox"/> Com muito frio			
4. Você preferiria estar:			
<input type="checkbox"/> Mais quente		<input type="checkbox"/> Não mudar	<input type="checkbox"/> Mais frio
5. Para você este ambiente térmico é:			
<input type="checkbox"/> Aceitável		<input type="checkbox"/> Inaceitável	
6. Como você se sente com relação ao movimento do ar neste momento? (Assinale apenas uma alternativa, considerando a aceitabilidade ou não da velocidade do ar)			
Inaceitável		<input type="checkbox"/> Pouco movimento do ar	
		<input type="checkbox"/> Muito movimento do ar	
Aceitável		<input type="checkbox"/> Pouco movimento do ar	
		<input type="checkbox"/> Movimento do ar suficiente	
		<input type="checkbox"/> Muito movimento do ar	
7. Considerando sua resposta anterior, qual a sua preferência com relação ao movimento do ar neste momento?			
<input type="checkbox"/> Maior movimento do ar		<input type="checkbox"/> Não mudar	<input type="checkbox"/> Menor movimento do ar
8. Marque com um X:			
(a) o local mais apropriado onde você passa a maior parte do seu tempo:			



ABNT/CB-55  
3º PROJETO REVISÃO ABNT NBR 16401-2  
2019

	Nota Deve ser fornecido um desenho em planta que demonstre adequadamente o espaço da pesquisa ou a edificação em questão.				
(b) o local que melhor descreve a área da edificação onde você passa mais tempo:					
<input type="checkbox"/> Norte	<input type="checkbox"/> Sul	<input type="checkbox"/> Leste	<input type="checkbox"/> Oeste	<input type="checkbox"/> Central	<input type="checkbox"/> Não sei
9. Em qual andar da edificação seu local de trabalho está localizado?					
<input type="checkbox"/> 1º Andar	<input type="checkbox"/> 2º Andar	<input type="checkbox"/> 3º Andar	<input type="checkbox"/> Outro. Especifique:		
10. Você está próximo(a) de uma parede externa? (aprox.3 metros).					
<input type="checkbox"/> Sim			<input type="checkbox"/> Não		
11. Você está próximo(a) de uma janela com abertura externa? (aprox. 3 metros).					
<input type="checkbox"/> Sim			<input type="checkbox"/> Não		
12. Utilizando a relação abaixo, assinale cada item de roupa que você está usando agora: <b>Nota: Esta lista pode ser ajustada de acordo com a necessidade.</b>					
<input type="checkbox"/> Camisa manga curta	<input type="checkbox"/> Vestido social	<input type="checkbox"/> Macacão			
<input type="checkbox"/> Camisa manga longa	<input type="checkbox"/> Saia curta (joelho)	<input type="checkbox"/> Calcinha + Sutiã			
<input type="checkbox"/> Camiseta/Camisa Polo	<input type="checkbox"/> Saia longa (canela)	<input type="checkbox"/> Cueca			
<input type="checkbox"/> Suéter manga longa	<input type="checkbox"/> Shorts/Bermuda	<input type="checkbox"/> Meias de nylon			
<input type="checkbox"/> Suéter manga curta	<input type="checkbox"/> Calça Jeans	<input type="checkbox"/> Meias esportivas			
<input type="checkbox"/> Jaqueta/paletó fino	<input type="checkbox"/> Calça Social	<input type="checkbox"/> Botas			
<input type="checkbox"/> Jaqueta/Paletó grosso	<input type="checkbox"/> Calça moleton	<input type="checkbox"/> Tênis/Sapato			
<input type="checkbox"/> Colete	<input type="checkbox"/> Blusa moleton	<input type="checkbox"/> Sandálias			
Outros. Especifique:					
13. Qual o seu nível de atividade neste momento? (assinale a opção mais apropriada)					
<input type="checkbox"/> Sentado, atividade leve (relaxado, lendo)					
<input type="checkbox"/> Sentado, atividade moderada (digitando, arquivando)					
<input type="checkbox"/> Em pé, relaxado					
<input type="checkbox"/> Atividade leve em pé					
<input type="checkbox"/> Atividade moderada em pé					
<input type="checkbox"/> Atividade pesada					
<input type="checkbox"/> Outra. Especifique:					

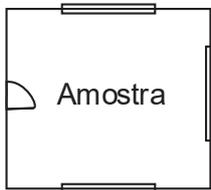


14. Dentre as opções abaixo, quais estão disponíveis para o ajuste/controle pessoal da temperatura neste momento?

**Nota:** Esta lista pode ser ajustada de acordo com a necessidade.

<input type="checkbox"/> Cortinas ou persianas	<input type="checkbox"/> Ar condicionado	<input type="checkbox"/> Aquecedor Portátil
<input type="checkbox"/> Porta para interior	<input type="checkbox"/> Porta para exterior	<input type="checkbox"/> Ventilador de teto
<input type="checkbox"/> Ventilador portátil	<input type="checkbox"/> Janelas operáveis	<input type="checkbox"/> Termostato
<input type="checkbox"/> Saída de ar ajustável (chão, parede ou teto)	<input type="checkbox"/> Nenhuma das opções	
<input type="checkbox"/> Outras. Especifique:		

## G.2 Modelo de questionário para pesquisas de satisfação com relação ao ambiente térmico

Data:	Hora:				
1. Registre os seguintes dados pessoais:					
Sexo: <input type="checkbox"/> Feminino <input type="checkbox"/> Masculino	Idade:				
Peso:	Altura:				
2. Qual tipo de atividade você exerce neste ambiente, e por quanto tempo?					
3. Marque com um X: (a) o local mais apropriado onde você passa a maior parte do seu tempo:					
	Nota: Deve ser fornecido um desenho em planta que demonstre adequadamente o espaço da pesquisa ou a edificação em questão.				
(b) o local que melhor descreve a área da edificação onde você passa mais tempo:					
<input type="checkbox"/> Norte	<input type="checkbox"/> Sul	<input type="checkbox"/> Leste	<input type="checkbox"/> Oeste	<input type="checkbox"/> Central	<input type="checkbox"/> Não sei
4. Em qual andar da edificação seu local de trabalho está localizado?					
<input type="checkbox"/> 1º Andar	<input type="checkbox"/> 2º Andar	<input type="checkbox"/> 3º Andar	<input type="checkbox"/> Outro. Especifique:		
5. Você está próximo(a) de uma parede externa? (aprox. 3 metros).					
<input type="checkbox"/> Sim			<input type="checkbox"/> Não		
6. Você está próximo(a) de uma janela com abertura externa? (aprox. 3 metros).					
<input type="checkbox"/> Sim			<input type="checkbox"/> Não		
7. Dentre as opções abaixo, quais estão disponíveis para o ajuste/controle pessoal da temperatura no seu local de trabalho?					
<b>Nota:</b> Esta lista pode ser ajustada de acordo com a necessidade.					
<input type="checkbox"/> Cortinas ou persianas	<input type="checkbox"/> Ar condicionado	<input type="checkbox"/> Aquecedor Portátil			



ABNT/CB-55  
3º PROJETO REVISÃO ABNT NBR 16401-2  
2019

<input type="checkbox"/> Porta para interior	<input type="checkbox"/> Porta para exterior	<input type="checkbox"/> Ventilador de teto
<input type="checkbox"/> Ventilador portátil	<input type="checkbox"/> Janelas operáveis	<input type="checkbox"/> Termostato
<input type="checkbox"/> Saída de ar ajustável (chão, parede ou teto)		<input type="checkbox"/> Nenhuma das opções
<input type="checkbox"/> Outras. Especifique:		
Por favor responda as próximas perguntas com base na sua experiência neste local de trabalho considerando os últimos meses (considerar os 6 últimos meses ou o intervalo de tempo entre esta e a última pesquisa realizada).		
<b>Nota:</b> Modificar a afirmação acima de acordo com o período mais adequado de tempo		
8. Quão satisfeito você está com a temperatura no seu local de trabalho? (assinale no local mais apropriado utilizando a escala abaixo e considerando o quadrado central como "neutro").		
Muito Satisfeito	<input type="checkbox"/>	Muito Insatisfeito
9. Se você está insatisfeito com a temperatura no seu local de trabalho, qual das seguintes alternativas contribui para a sua insatisfação?		
a) Durante os meses/estações mais quentes, a temperatura no meu local de trabalho é:		
<input type="checkbox"/> Ocasionalmente fria	<input type="checkbox"/> Diversas vezes fria	<input type="checkbox"/> Sempre fria
<input type="checkbox"/> Ocasional. quente	<input type="checkbox"/> Div. vezes quente	<input type="checkbox"/> Sempre quente
b) Durante os meses/estações mais frias, a temperatura no meu local de trabalho é:		
<input type="checkbox"/> Ocasionalmente muito fria	<input type="checkbox"/> Diversas vezes muito fria	<input type="checkbox"/> Sempre muito fria
<input type="checkbox"/> Ocasional. muito quente	<input type="checkbox"/> Div. vezes muito quente	<input type="checkbox"/> Sempre muito quente
10. Em qual horário do dia este problema ocorre com maior frequência?		
<input type="checkbox"/> Pela manhã (antes das 11h)	<input type="checkbox"/> Meio-dia (entre 11 e 14h)	<input type="checkbox"/> Tarde (entre 14 e 18h)
<input type="checkbox"/> Noite (após as 18h)	<input type="checkbox"/> Fins de semana/Feriados	<input type="checkbox"/> O tempo todo
<input type="checkbox"/> Segunda-feira pela manhã	<input type="checkbox"/> Não existe hora certa	<input type="checkbox"/> Outra:
11. Qual(is) alternativa(s) melhor descreve a fonte deste desconforto? Marque mais de uma opção, se necessário.		
<b>Nota:</b> Esta lista pode ser ajustada de acordo com a necessidade.		
<input type="checkbox"/> Umidade muito alta (úmido)	<input type="checkbox"/> Umidade muito baixa (seco)	
<input type="checkbox"/> Muita ventilação (velocidade do ar)	<input type="checkbox"/> Pouca ventilação (velocidade do ar)	
<input type="checkbox"/> Incidência de luz solar direta	<input type="checkbox"/> Calor proveniente de equipamentos	
<input type="checkbox"/> Corrente de ar proveniente das janelas	<input type="checkbox"/> Corrente de ar prov. de ventiladores	
<input type="checkbox"/> Meu espaço é mais quente/frio que os outros	<input type="checkbox"/> Janela é inoperável	
<input type="checkbox"/> Termostato ajustado por outra pessoa	<input type="checkbox"/> Termostato é inacessível	
<input type="checkbox"/> Uniforme (roupa) não pode ser ajustado	<input type="checkbox"/> Sistema de climatização deficiente	
<input type="checkbox"/> Outros. Especifique:		



12. Por favor descreva qualquer outro problema com relação à temperatura no seu local de trabalho:

Nota: Este modelo de questionário foi adaptado do modelo utilizado pelo “*occupant IEQ survey*” do CBE, desenvolvido pelo Center for the Built Environment da Universidade da Califórnia em Berkeley.

### G.3 Avaliação de conforto em espaços existentes

A abordagem de avaliação depende da aplicação pretendida. A lista de possíveis aplicações de avaliação é extensa. Estas exigem a avaliação em diferentes períodos de tempo - de curto (ST – *short term measurements*) a longo prazo (LT – *long term measurements*):

- a) Operação em tempo real de um prédio usando medições de conforto (ST);
- b) Avaliando o desempenho do sistema HVAC (ST ou LT);
- c) Tomada de decisões de gerenciamento para melhorias internas, comissionamento contínuo e avaliação do desempenho de operadores e provedores de serviços (LT);
- d) Gestão de carteiras imobiliárias: avaliação da qualidade e valor de construção (LT, ST);
- e) Validando o cumprimento dos requisitos de edifícios existentes com sistemas similares ao LEED (ST, LT)
- f) Validando a conformidade dos requisitos especificados em códigos e normas - energia, hospital, etc. (ST);

Existem duas abordagens principais para avaliar o conforto térmico em edifícios operacionais. A primeira ocorre a partir da determinação direta das sensações térmicas dos ocupantes e a satisfação através da avaliação estatística das pesquisas em campo. A segunda é a partir da utilização de modelos de conforto para estimar sensações e a satisfação dos ocupantes a partir de variáveis ambientais medidas. As medidas necessárias para cada uma dessas abordagens foram descritas nas Seções G1 e G2.

As pesquisas e medições físicas podem ser utilizadas em conjunto com os outros métodos para fins de diagnóstico de problemas (ver Tabela G3). No curto prazo, as pesquisas pontuais são usadas para obter percepções de conforto coincidentes com medidas ambientais registradas em um intervalo curto ou dados de tendência de sistemas automatizados. Para avaliar o desempenho do edifício ao longo do tempo, os resultados das pesquisas de satisfação dos ocupantes estão correlacionados com as médias das medidas de longo prazo das condições ambientais.

#### G3.1. Análise baseada em análises subjetivas

As pesquisas e análises subjetivas podem realizar uma avaliação do conforto de forma direta, e em contraste com a abordagem indireta do cálculo de conforto, utilizando-se modelos que entregam resultados a partir da análise de variáveis ambientais medidas em campo. Estas análises baseiam-se em algumas das seguintes formas:

- a) Análises de curto prazo (utilizando determinações de conforto instantâneas): realizadas a partir de medições em curto prazo e pesquisas pontuais, ou instantâneas (*right-here-right-now*). Nestas pesquisas, são levantados os votos de: i) aceitabilidade térmica; ii) votos de sensação térmica (quando calculada a média de uma população, estes votos correspondem diretamente aos votos de PMV, podendo ser



comparados); iii) votos de preferência relacionada à temperatura e preferência de movimento de ar ("menos"/"sem mudança"/"mais").

Os critérios para a comprovação de atendimento podem ser determinados a partir do: i) PMV/Voto de sensação entre -0,5 a +0,5; ii) valores de sensação térmica real entre o intervalo de -1 e +1, que representam a satisfação dos ocupantes. A ruptura ao longo da escala categórica de sensação térmica de sete pontos está em -1,5 e +1,5, inclusive.

A determinação desconforto térmico local deve ser realizada conforme: i) perguntas relacionadas à qualquer forma de desconforto térmico local (por exemplo, tornozelo, desconforto no pescoço); ii) questões sobre os efeitos da radiação solar no conforto.

		Natureza da aplicação	
		Curto prazo	Longo prazo
Método de Medição	<b>Pesquisas com os ocupantes</b>	<b>Pesquisas instantâneas e pontuais (devem ser aplicadas considerando populações e períodos do ano relevantes):</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• O registro e a análise dos dados (votos de sensação térmica médios) leva a um percentual de conforto durante o período de pesquisa;</li><li>• A partir de valores coincidentes de temperatura podem ser realizadas extrapolações a uma gama maior de condições.</li></ul> <p><i>(Geralmente utilizadas para pesquisas e diagnóstico de problemas).</i></p>	<b>Pesquisa de satisfação dos ocupantes:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Os resultados da pesquisa resultam em um percentual de insatisfeitos (a "insatisfação" pode ser interpretada quando os votos se encontram fora do intervalo de -1 ou abaixo de 0);</li><li>• O período de interesse pode ser especificado pelos responsáveis pela solicitação da pesquisa/estudo.</li></ul> <p><i>(Geralmente utilizadas na gestão de edifícios, comissionamento, órgãos de classificação e setor imobiliário, e conformidade com sistemas de classificação de edifícios verdes)</i></p>
	<b>Medições ambientais</b>	Medições pontuais das variáveis utilizando sensores (móveis) programados por um período de tempo (deve selecionar um momento relevante para a medição): <ul style="list-style-type: none"><li>• Utilizar as variáveis de determinação do PMV (Seções 5.3.1 e 5.3.3);</li><li>• Utilizar as variáveis de determinação de conformidade com o modelo adaptativo (Seção 5.4).</li></ul> <p><i>(Geralmente utilizadas para operação em tempo real, testando e validando o desempenho do sistema).</i></p>	Feitas a partir de sensores de registro durante o período de interesse ou a partir de dados de tendência dos sensores instalados permanentemente (Sistemas automatizados): <ul style="list-style-type: none"><li>• Avaliação a partir das horas de desconforto excedidas: soma de horas considerando o PMV ou os limites do modelo adaptativo.</li><li>• Os valores excedentes analisados por agrupamento podem ser ponderadas pela gravidade.</li><li>• Instâncias de mudança excessiva de temperatura ou de desconforto térmico local podem ser contabilizadas.</li></ul> <p><i>(Geralmente utilizadas para avaliar o desempenho do sistema e operador ao longo do tempo)</i></p>



## Anexo H (Informativo)

### Modelo de documentação para avaliação de conformidade na etapa de projeto

#### H.1 Comum a todos os tipos de projeto

Valores de variáveis subjetivas pressupostos para cada tipo de espaço, categoria de uso e estação			
Tipos de Espaço (escritórios, recepção, espera, etc.)	Nível de Vestimenta (CLO)		Taxa Metabólica (MET)
	Verão	Inverno	

#### H.2 Complete esta seção se o projeto utilizar o método relativo à Seção 5.3.2 desta parte da Norma (PMV/PPD)

1. Dados climáticos utilizados para os cálculos do projeto: \_\_\_\_\_

2. Condições climáticas de projeto utilizadas para o cálculo das cargas de pico (0,5%, 1%, etc.)

Resfriamento: \_\_\_\_\_ Aquecimento: \_\_\_\_\_

3. Horas de um ano típico em que a temperatura externa excede as condições de projeto:

Resfriamento: \_\_\_\_\_ Aquecimento: \_\_\_\_\_

**Tabela H.1 — Modo de resfriamento**

Modo de Resfriamento	Tipos de Espaço (escritório, recepção, espera, etc.)	Temperatura Operativa de Projeto		Umidade Máxima de Projeto		Velocidade Média do Ar	
		Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno

**Tabela H.2 — Modo de aquecimento**

Modo de Aquecimento	Tipos de Espaço (escritórios, recepção, espera, etc.)	Temperatura Operativa de Projeto		Umidade Máxima de Projeto		Velocidade Média do Ar	
		Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno

4. Verificar se as combinações de fatores pessoais, temperatura operativa assumida, velocidade do ar e umidade relativa detalhados acima resultam em Votos Médios Estimados (PMV) dentro do intervalo de  $\pm 0,5$ . (Inclui documentação de apoio com o cálculo de PMV/PPD, resultados e ferramentas utilizadas e/ou gráfico da zona de conforto psicrométrica do modelo).

5. Velocidade do ar elevada: Quando a velocidade média do ar das condições especificadas em projeto excederem 0,20 m/s:

a) verificar se a velocidade média do ar atende os parâmetros especificados pelos limites da Figura 3 quando os ocupantes não têm o controle da velocidade do ar.

b) verificar se a velocidade média do ar atende aos parâmetros especificados pelos limites da Figura 3 quando os ocupantes detêm o controle da velocidade do ar, e se estes são separados a cada 84 m<sup>2</sup> ou um controle a cada 6 ocupantes.

6. Efeitos de desconforto térmico localizado

Verificar se os efeitos de desconforto localizado foram considerados, e não são susceptíveis a exceder os limites descritos na Seção 5.3.4 desta parte da Norma. Quando os efeitos de desconforto térmico localizado são susceptíveis de ocorrência, verificar se os cálculos foram realizados de forma a incluir os valores previstos dentro do intervalo permitido pela Seção 5.3.4 desta Norma.

**Tabela H.3 – Efeitos de desconforto**

Efeitos de desconforto localizado	Não são susceptíveis	Cálculos foram efetivados
Assimetria de Temperatura Radiante		
Diferenças de Temperatura no sentido Vertical		
Temperatura Superficial do Piso		
Correntes de Ar		

**H.3 Complete esta seção se o projeto utilizará o método relativo à Seção 5.4 desta parte da Norma**

### H.3.1 Modelo adaptativo para ambientes naturalmente ventilados e controlados pelos ocupantes

1. Verificar se cada espaço condicionado naturalmente controlado pelo ocupante atende a todos os critérios especificados pela Seção 5.4 desta parte da Norma.

- a) os espaços possuem janelas operáveis com abertura para o exterior, prontamente ajustáveis pelos ocupantes;
- b) não existe nenhum tipo de sistema mecânico de condicionamento ambiental instalado (condicionamento artificial, resfriamento por radiação, ou resfriamento com desumidificadores). Não existe sistema de aquecimento artificial em operação;
- c) os ocupantes desenvolvem atividades sedentárias, com baixa taxa de metabolismo entre 1,0 e 1,3 met;
- d) os ocupantes podem adaptar a sua vestimenta de acordo com as condições térmicas internas ou externas, dentro de um intervalo de no mínimo 0,5 a 1,0 clo;
- e) a temperatura média predominante do ar externo é superior a 10°C, e inferior a 33,5°C.

2. Arquivo climático utilizado para o cálculo da temperatura média mensal.

3. Verificar o valor da velocidade do ar; se elevada, verificar o ajuste incremental no limite superior da zona de aceitabilidade térmica da Figura 5, em conjunto com a Tabela 7.

4. Verificar se a temperatura operativa estimada atende o limite de 80 % de aceitabilidade da Figura 5 desta parte da Norma, incluindo os ajustes no limite causado pelo incremento da velocidade do ar.

Nota: Fornecer documentação de apoio que comprove os dados de entrada e os resultados de cálculo e simulação. Incluir os piores casos de condições externas de projeto e o pior caso de condições internas de temperatura estimadas para cada mês.



## Bibliografia

- [1] Software da ASHRAE Thermal Comfort Tools;