Instalações de condicionamento de ar — Sistemas centrais e unitários
Parte 2: Parâmetros de conforto térmico

APRESENTAÇÃO

1) Este 2º Projeto de Revisão foi elaborado pela Comissão de Estudo de Sistemas Centrais de Condicionamento de Ar e Ventilação Comercial e Industrial (CE-055:002.003) do Comitê Brasileiro de Refrigeração, Ar-condicionado, Ventilação e Aquecimento (ABNT/CB-055), nas reuniões de:

14.06.2023		

a) é previsto para cancelar e substituir a ABNT NBR 16401-2:2008, a qual foi tecnicamente revisada, quando aprovado, sendo que, nesse ínterim, a referida norma continua em vigor;

b) não tem valor normativo.

2) Aqueles que tiverem conhecimento de qualquer direito de patente devem apresentar esta informação em seus comentários, com documentação comprobatória.

3) Analista ABNT – Carlos Alberto Bigatan.

Projeto em Consulta Nacional

© ABNT 2023

Todos os direitos reservados. Salvo disposição em contrário, nenhuma parte desta publicação pode ser modificada ou utilizada de outra forma que altere seu conteúdo. Esta publicação não é um documento normativo e tem apenas a incumbência de permitir uma consulta prévia ao assunto tratado. Não é autorizado postar na internet ou intranet sem prévia permissão por escrito. A permissão pode ser solicitada aos meios de comunicação da ABNT.

Instalações de condicionamento de ar — Sistemas centrais e unitários
Parte 2: Parâmetros de conforto térmico

Air conditioning installations — Central and unitary systems
Part 2: Thermal comfort parameters

Projeto em Consulta Nacional

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 pelas partes interessadas no tema objeto da normalização.

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

A ABNT chama a atenção para que, apesar de ter sido solicitada manifestação sobre eventuais direitos de patentes durante a Consulta Nacional, estes podem ocorrer e devem ser comunicados à ABNT a qualquer momento (Lei nº 9.279, de 14 de maio de 1996).

Os Documentos Técnicos ABNT, assim como as Normas Internacionais (ISO e IEC), são voluntários e não incluem requisitos contratuais, legais ou estatutários. Os Documentos Técnicos ABNT não substituem Leis, Decretos ou Regulamentos, aos quais os usuários devem atender, tendo precedência sobre qualquer Documento Técnico ABNT.

Ressalta-se que os Documentos Técnicos ABNT podem ser objeto de citação em Regulamentos Técnicos. Nestes casos, os órgãos responsáveis pelos Regulamentos Técnicos podem determinar as datas para exigência dos requisitos de quaisquer Documentos Técnicos ABNT.

A ABNT NBR 16401-2 foi elaborada no Comitê Brasileiro de Refrigeração, Ar-condicionado, Ventilação e Aquecimento (ABNT/CB-055), pela Comissão de Estudo de Sistemas Centrais de Condicionamento de Ar e Ventilação Comercial e Industrial (CE-055:002.003). O 1º Projeto de Revisão circulou em Consulta Nacional conforme Edital nº 02, de 11.02.2022 a 14.03.2022. O 2º Projeto de Revisão circulou em Consulta Nacional conforme Edital nº XX, de XX.XX.XXXX a XX.XX.XXXX.

A ABNT NBR 16401-2:2023 cancela e substitui a ABNT NBR 16401-2:2008, a qual foi tecnicamente revisada.

A ABNT NBR 16041, sob o título geral "*Instalações de condicionamento de ar – Sistemas centrais e unitários*", tem previsão de conter as seguintes partes:

— Parte 1: Projeto das instalações;

— Parte 2: Parâmetros de conforto térmico;

— Parte 3: Qualidade do ar interior.

Projeto em Consulta Nacional

O Escopo em inglês da ABNT NBR 16401-2 é o seguinte:

Scope

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.

This Part of Standard specifies the indoor thermal conditions acceptable for healthy adults at atmospheric pressure equivalent to altitudes up to 3 000 m in indoors spaces designed to human occupancy considering time periods greater than 15 min.

This Part of standard does not address non thermal factors as air quality, acoustics, illumination or other physical, chemical or biological criteria that may affect comfort or health.

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

Projeto em Consulta Nacional

Introdução

O 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 para cada pessoa, é muito difícil satisfazer a todas em um mesmo ambiente.

Existe hoje um grande número de dados medidos em laboratório e em campo que embasam estatisticamente a determinação das condições nas quais uma porcentagem mínima de ocupantes se sente termicamente confortável. A maioria destes estudos foi efetuada em condições típicas de trabalho em escritórios, em que se realizavam atividades sedentárias. Portanto, esta Parte da ABNT NBR 16401 é apropriada apenas nestas condições, podendo ainda ser utilizada para atividades moderadamente mais intensas.

Os métodos descritos não se aplicam às pessoas dormindo, crianças, deficientes físicos, doentes ou idosos.

Há seis as principais variáveis que podem ser consideradas na deterrminação de conforto térmico, dentre elas:

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. Em alguns casos não é possível atingir as condições térmicas aceitáveis para todos os ocupantes devido às diferenças individuais, incluindo a atividade e a 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.

As condições de conforto térmico em espaços que operam por meio da ventilação natural não são as mesmas requeridas em ambientes condicionados artificialmente. Estudos de campo demonstraram que nestes ambientes, nos quais 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, estes ambientes resultam em alterações nas expectativas e limites de aceitabilidade térmica dos ocupantes que devem ser consideradas.

Instalações de condicionamento de ar — Sistemas centrais e unitários
Parte 2: Parâmetros de conforto térmico

Projeto em Consulta Nacional

1 Escopo

Esta Parte da ABNT NBR 16401 especifica as combinações de variáveis ambientais e pessoais que produzam condições térmicas aceitáveis para a maioria dos ocupantes em um determinado ambiente.

Esta Parte da ABNT NBR 16401 especifica as condições térmicas aceitáveis para adultos saudáveis expostos à pressão atmosférica equivalente a altitudes de até 3 000 m, e em ambientes internos projetados para ocupação humana considerando períodos superiores a 15 min.

Esta Parte da ABNT NBR 16401 não se aplica a 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.

Esta Parte da ABNT NBR 16401 não substitui quaisquer requisitos de segurança, saúde ou processo crítico.

2 Referências normativas

Os documentos a seguir são citados no texto de tal forma que seus conteúdos, totais ou parciais, constituem requisitos para este 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 condicionamento de ar – Sistemas centrais e unitários – Parte 1: Projeto das instalações*

ABNT NBR 16401-3, *Instalações de condicionamento de ar – 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 55-2017, *Thermal environmental conditions for human occupancy*

ASHRAE 70:2006, *Method of testing for rating the performance of air outlets and Inlets;*

ASHRAE/IES 90.1, *Energy Standard for buildings – Except low-rise residential buildings*

ASHRAE 113:2009*, Method of testing for room air diffusion*

3 Termos e definições

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

Projeto em Consulta Nacional

3.1
aberturas controladas pelos ocupantes
aberturas, como as janelas, controladas pelos ocupantes do espaço, manualmente ou por sistema de automação sob o controle dos usuários

3.2
ambientes naturalmente condicionados, controlados pelos ocupantes
ambientes onde as condições térmicas são reguladas principalmente por meio da operação, de abertura ou fechamento, de janelas e movimentação passiva do ar

3.3
ambiente térmico
variáveis locais específicas ou aspectos de um ambiente térmico que afetam as perdas de calor dos ocupantes

3.4
ambiente térmico aceitável
ambiente térmico onde a maioria das pessoas (percentual igual ou superior a 80 %) o classifique como termicamente aceitável

3.5
assimetria na temperatura radiante
diferença entre as temperaturas radiantes planas (t_{pr}) de duas faces opostas considerando 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

3.6
clo
unidade usada para expressar o isolamento térmico de um item de roupa ou de uma combinação de itens

NOTA 1 clo = 0,155 (m^2.K)/W.

3.7
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

3.8
constante de tempo
tempo para que um instrumento de medição alcance 63 % do valor real final após uma mudança

3.9
corrente de ar
resfriamento local indesejado no corpo causado pela velocidade do ar, resultando em sensação de frio

3.10
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

Projeto em Consulta Nacional

3.11
edificações híbridas
edificações que 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

3.12
escala sétima de conforto térmico
sensação térmica expressa nas categorias muito frio, frio, levemente frio, neutro, levemente quente, quente e muito quente

3.13
excedência de horas de desconforto
horas de desconforto
número de horas ocupadas em um período de tempo determinado, quando as condições ambientais em um espaço estiverem fora dos limites estipulados pela zona de conforto

3.14
fator de sombreamento das janelas
percentual da área de um dispositivo de sombreamento desobstruído (*brises*, persianas ou material cego)

NOTA Para tecidos tonalizados, o fator de abertura deve ser relativo à abertura do tecido.

3.15
facilmente acessível
operação que permite, de forma rápida e acessível, de forma que o usuário remova obstáculos ou recorra a escadas, cadeiras ou outro tipo de suporte para alcançar o controle

3.16
fator solar
FS
índice que representa a fração de ganho térmico devido à radiação solar que a abertura transmite diretamente, somada à parcela que é absorvida e reemitida pela própria abertura para o interior da edificação

NOTA O fator solar (FS), é conhecido internacionalmente como “g”, ver referências bibliográficas [1], [2] e [3]

3.17
radiação solar direta normal
$\mathbf{I}_{dir}$
radiação solar proveniente da direção do sol

NOTA 1 A radiação solar direta normal é expressa em watts por metro quadrado (W/m^2).

NOTA 2 Não inclui a irradiância solar refletida ou a difusa.

3.18
isolamento térmico da vestimenta
$\mathbf{I}_{cl}$
resistência térmica à troca de calor sensível apresentada por uma vestimenta

NOTA 1 O isolamento térmico da vestimenta é expresso em unidades clo ou em resistência térmica ($(m^2.K)/W$).

Projeto em Consulta Nacional

NOTA 2 A definição de isolamento térmico da vestimenta está relacionada à transferência de calor do corpo como um todo e, portanto, inclui as partes não cobertas como as mãos e a cabeça.

3.19
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

NOTA 1 O isolamento térmico de peças de uma vestimenta é expresso em unidades clo ou em resistência térmica ($(m^2.K)/W$).

3.20
temperatura média predominante do ar externo
$t_{mpa(ext)}$
valor que tem como base a média ponderada exponencialmente das temperaturas dos últimos sete dias, quando usada como variável de entrada na zona de conforto do modelo adaptativo (ver 6.4)

3.21
met
unidade usada para descrever a energia gerada dentro do corpo humano a partir da atividade metabólica

NOTA 1 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 2 A área superficial de uma pessoa média é de 1,8 m^2.

3.22
microclima individual
ambiente térmico imediatamente em torno de um ocupante

3.23
modelo adaptativo
modelo que relaciona as temperaturas internas aceitáveis com as temperaturas externas

NOTA Modelo adaptativo é o outro nome dado para o método descrito em 6.4.

3.24
mudança de *setpoint*
mudança progressiva de uma variável, tanto por meio de projeto ou como resultado de um intervalo de tempo entre as medições

3.25
neutralidade térmica
índice térmico interno que corresponde a um voto neutro na escala de sensação térmica

3.26
ocupante representativo
indivíduo real ou composto pela média de vários indivíduos que representa a população ocupante de um espaço por 15 min ou mais

Projeto em Consulta Nacional

3.27
porcentagem de insatisfeitos
PD_L
porcentagem prevista de pessoas insatisfeitas devido ao desconforto térmico local

3.28
porcentagem predita de insatisfeitos
PPD
índice determinado a partir do PMV e que estabelece a porcentagem prevista de pessoas insatisfeitas em um ambiente

3.29
potencial de correção
CP
capacidade de um sistema individual de condicionamento (PCS) de corrigir as condições térmicas em direção à zona de conforto

NOTA 1 O potencial de correção é expresso em graus (°C).

NOTA 2 Esta capacidade é medida pela diferença entre duas temperaturas operativas nas quais se alcança a mesma sensação térmica - uma temperatura dentro da zona de conforto sem PCS, e outra com uso do PCS, mantendo constantes todas as outras variáveis ambientais.

3.30
pressão parcial de vapor
pa
pressão que o vapor d'água exerce quando ocupa o mesmo volume que o ar úmido, na mesma temperatura

3.31
razão de umidade do ar
razão entre a massa de água existente no ar e a massa de ar seco

3.32
sensação térmica
expressão subjetiva consciente da percepção térmica de um ocupante em relação a um ambiente, expressa na escala sétima de conforto térmico

3.33
sistema individual de condicionamento
PCS
dispositivo controlado pelo ocupante para o aquecê-lo e/ou resfriá-lo diretamente e individualmente, ou aquecer e/ou resfriar seu microclima individual, sem afetar o ambiente térmico dos outros ocupantes

3.34
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

NOTA A taxa metabólica é expressa em unidades met ou watts por metro quadrado (W/m^2).

Projeto em Consulta Nacional

3.35
temperatura de bulbo úmido
t_{bu}
temperatura de bulbo úmido termodinâmica, indicada por um termômetro cujo bulbo está envolto por um pavio molhado, em que se aplica uma velocidade do ar entre 4 e 5 m/s.

3.36
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, condensa na forma de água líquida

3.37
temperatura do ar
t_a
temperatura média do ar ao redor do ocupante

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

3.39
temperatura efetiva padrão
SET
valor de temperatura em um ambiente uniforme imaginário, em que a taxa de umidade relativa é de 50 %, a velocidade do ar inferior a 0,1 m/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

3.40
temperatura média diária externa
$t_{md(ext)}$
média aritmética de um período de 24 h

3.41
temperatura operativa
t_o
temperatura uniforme das superfícies de um ambiente imaginário no qual o ocupante trocaria a mesma quantidade de calor por radiação e convecção que no ambiente real não uniforme

3.42
temperatura radiante média
$\mathbf{t_r}$
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

3.43
temperatura radiante média de ondas curtas
$\mathbf{t_{rsw}}$
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

Projeto em Consulta Nacional

3.44
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, conforme referência bibliográfica [5]

3.45
temperatura radiante plana
t_{pr}
temperatura uniforme de um ambiente imaginário, no qual a radiação sobre um lado de um pequeno elemento plano é igual à de um ambiente real não uniforme

NOTA A temperatura radiante plana descreve a radiação oriunda de uma direção.

3.46
transmitância solar total
T_{sol}
transmitância da radiação solar total por meio de uma abertura de janela, incluindo vidros e persianas internas ou tecidos tonalizados (ver Anexo D)

3.47
umidade
massa de vapor de água contido em um determinado espaço

3.48
umidade absoluta do ar
umidade específica
quociente da massa de vapor d'água (em kg) pela massa de ar seco (em kg)

3.49
umidade relativa do ar
relação da entre a pressão parcial ou massa específica do vapor d'água e a pressão de saturação ou massa específica respectivamente à mesma temperatura de bulbo seco e a pressão barométrica do ar do ambiente.

3.50
velocidade do ar
v_{ar}
movimento do ar em um determinado ponto, desconsiderando sua direção

NOTA A velocidade do ar é expressa em metros por segundo (m/s).

3.51
velocidade máxima do ar
maior valor de velocidade do ar nas três alturas típicas de medição

3.52
velocidade média do ar
v_a
velocidade média do ar (temporal e local) ao redor de um ocupante representativo. A média espacial é considerada em três alturas diferentes, assim como na temperatura média do ar. A velocidade média do ar é calculada considerando um período não inferior a 1 min, nem superior a 3 min. Variações que ocorram em um período maior de tempo devem ser tratadas como valores diferentes de velocidade do ar

Projeto em Consulta Nacional

3.53
voto médio estimado predito
PMV
índice que prevê o valor médio da sensação térmica de um grande número de pessoas na escala sétima de sensação térmica

3.54
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

3.55
zona ocupada
zona normalmente ocupada por pessoas no ambiente, geralmente considerada entre o piso e 1,8 m de altura, a mais de 1,0 m de distância das paredes e janelas externas ou equipamentos fixos de condicionamento ambiental e a 0,3 m de paredes internas

4 Símbolos e abreviaturas

Para efeito deste documento aplicam-se os símbolos e abreviaturas apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Símbolos e abreviaturas (continua)

Termo	Símbolo/abreviatura	Unidade
Potencial de correção	CP	°C
Irradiação solar direta normal	I_{dir}	W/m^2
Horas excedidas/Horas de desconforto	EH	horas
Isolamento térmico da vestimenta	I_{cl}	(m^2.K)/W ou clo
Isolamento térmico de peças de uma vestimenta	I_{clu}	(m^2.K)/W
Porcentagem de insatisfeitos	PPD_L	%
Porcentagem predita de insatisfeitos	PPD	%
Pressão parcial de vapor	Pa	kPa
Taxa metabólica	M	met ou W/m^2
Temperatura de globo	t_g	°C
Temperatura de ponto de orvalho	t_{dp}	°C
Temperatura de bulbo úmido	t_{bu}	°C
Temperatura do ar	t_a	°C
Temperatura do piso	t_f	°C
Temperatura efetiva padrão	SET	°C
Temperatura média diária externa	$t_{md(ext)}$	°C

Projeto em Consulta Nacional

Tabela 1 (conclusão)

Termo	Símbolo/abreviatura	Unidade
Temperatura média predominante do ar externo	$t_{mpa(ext)}$	°C
Temperatura operativa	t_o	°C
Temperatura radiante média	t_r	°C
Temperatura radiante média de ondas curtas	t_{rsw}	°C
Temperatura radiante média de ondas longas	t_{rlw}	°C
Temperatura radiante plana	t_{pr}	°C
Temperatura superficial	t_s	°C
Transmitância solar total	T_{sol}	%
Umidade relativa do ar	UR	%
Velocidade do ar	v_{ar}	m/s
Velocidade média do ar (temporal e local) ao redor de um ocupante representativo	v_a	m/s
Voto médio estimado	PMV	num.

5 Requisitos gerais

5.1 Os critérios determinados nesta Parte da ABNT NBR 16401 são aplicados de forma integrada, já que o conforto térmico no ambiente interno é complexo e é afetado por todas as seis variáveis relacionadas.

5.2 Para especificação de parâmetros básicos e requisitos mínimos visando a obtenção de qualidade aceitável de ar interno para conforto, ver a ABNT NBR 16401-3.

5.3 A documentação das informações ligadas à aplicação desta Parte da ABNT NBR 16401 deve ser estruturada de acordo com as Seções 8 e 9, podendo também ser utilizado o modelo de documentação para avaliação de conformidade apresentado no Anexo G.

5.4 Todos os espaços nos quais a Norma estiver sendo aplicada, e também aqueles para os quais ela não é aplicada, devem ser identificados.

5.5 Para cada tipo de espaço, ao menos um ocupante representativo deve ser determinado. Caso algum conjunto de ocupantes seja excluído da análise, estes devem ser identificados.

5.6 As condições do ambiente requeridas para conforto térmico são determinadas de acordo com a Seção 6.

Projeto em Consulta Nacional

6 Condições requeridas de conforto térmico

6.1 Introdução

Esta Seção deve ser usada para determinar as condições térmicas aceitáveis do ambiente para cada usuário representativo de cada espaço. A porcentagem de pessoas que o classificam como confortável deve ser identificada para cada ambiente. As seis variáveis seguintes devem ser determinadas para determinar as condições aceitáveis de conforto térmico:

1) taxa metabólica;

2) isolamento da vestimenta;

3) temperatura do ar;

4) temperatura radiante média;

5) umidade do ar;

6) velocidade do ar .

Primeiramente são apresentadas as condições gerais requeridas de conforto térmico conforme Seção 5. Os métodos relativos à determinação das características dos ocupantes, ou seja, a taxa metabólica e o isolamento da vestimenta, estão descritos em 6.2. 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 determinar as condições de aceitabilidade térmica em ambientes gerais ocupados em 6.3 e de ambientes ocupados ventilados naturalmente conforme 6.4.

NOTA Pessoas que acabaram de entrar em um ambiente que atende aos requisitos de conforto térmico desta Parte da ABNT NBR 16401 podem não o classificar 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 h.

6.2 Método para determinar as características dos ocupantes

6.2.1 Taxa metabólica

6.2.1.1 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 podem 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); neste caso, eles podem ser agrupados em um único valor representativo. No entanto, caso o mesmo ocupante sentado seja comparado a um ocupante sentado e arquivando (1,2 met), cada um pode ser considerado separadamente ao determinar as condições requeridas para o conforto térmico.

Projeto em Consulta Nacional

6.2.1.2 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) taxas metabólicas para atividades típicas descritas na Tabela A.1 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 apresentados na Tabela A.1 ou extrapolação destes;

c) métodos de estimativa e/ou medição descritos na referência bibliográfica [5];

d) outros métodos de engenharia ou fisiológicos aprovados.

6.2.1.3 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 pode ser aplicada quando uma atividade persiste por mais de 1 h. Nesse caso, dois mecanismos metabólicos distintos para a determinação das taxas devem ser utilizados.

EXEMPLO Uma pessoa gasta 30 min em um intervalo de 1 h “levantando/embalando”, 15 min “arquivando em pé”, e 15 min “andando”. Neste caso, a média da 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 1 h, e depois “arquivando em pé” por mais de 1 h, considerar como tendo duas taxas metabólicas distintas.

6.2.1.4 Taxas metabólicas altas

Esta Parte da ABNT NBR 16401 não se aplica aos ocupantes cuja taxa metabólica excede 2,0 met.

6.2.2 Vestimenta

6.2.2.1 Vestimenta de ocupantes representativos

O isolamento da roupa (I_{cl}) em clo deve ser determinado para cada ocupante representativo do espaço. Valores médios não podem 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.

6.2.2.2 Determinação do isolamento da vestimenta

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

a) um dos conjuntos de vestimentas estimados pela Tabela B.1 para cada um dos ocupantes representativos do ambiente/espaço analisado;

b) adicionar ou subtrair as peças de vestimenta individuais, conforme os valores apresentados na Tabela B.2, considerando os valores já predeterminados na Tabela B.1;

Projeto em Consulta Nacional

c) 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. 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 estiver sentado em uma cadeira);

d) para ocupantes em movimento, ajustar qualquer um dos valores encontrados a partir dos métodos anteriores utilizando a Equação (1):

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

onde

M é a taxa metabólica, expressa em met;

I_{cl} é o isolamento da vestimenta sem movimento.

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

f) utilizar valores provenientes de medição realizada em manequins térmicos ou outros métodos de engenharia aprovados.

6.2.2.3 Limites de aplicabilidade

Esta Parte da ABNT NBR 16401 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, como, por exemplo, roupas de proteção química ou equipamento de chuva;

c) estiverem dormindo ou reclinados em contato com a cama ou, ainda, que possam utilizar cobertores ou roupas de cama.

6.3 Método geral para determinação das condições térmicas aceitáveis em espaços ocupados

A Seção 6 determina os requisitos de conforto térmico em todos os espaços ocupados que se enquadram no escopo desta Parte da ABNT NBR 16401. As condições térmicas aceitáveis devem ser determinadas a partir de um dos dois métodos disponíveis de acordo com a Tabela 2 devendo, ainda, atender aos requisitos de 6.3.3 e 6.3.4.

Tabela 2 – 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	Qualquer	1,0 a 2,0	0 a 1,5	6.3.1
> 0,20	Qualquer	1,0 a 2,0	0 a 1,5	6.3.2

Projeto em Consulta Nacional

6.3.1 Método da zona analítica de conforto térmico

6.3.1.1 Aplicabilidade

Este método pode ser aplicado em todos os espaços que se encontram no escopo desta Parte da ABNT NBR 16401, onde os ocupantes tenham níveis de atividade que resultam em taxas metabólicas médias entre 1,0 met. e 2,0 met. As velocidades médias do ar (Va) superiores a 0,20 m/s requerem a conformidade a 6.3.2.

6.3.1.2 Método

O código computacional descrito no Anexo C deve ser utilizado em conjunto com a Seção 6. A conformidade é alcançada se -0.5 < PMV < +0.5. Métodos alternativos são permitidos, no entanto, se utilizado qualquer outro método, é de responsabilidade do usuário verificar e documentar se este produz os mesmos resultados descritos no Anexo C.

As Figuras 1 e 2 fornecem exemplos gráficos de zonas de conforto utilizando o método da zona analítica de conforto térmico. O uso destes gráficos de forma direta para cumprir os requisitos da Seção 6 é permitido sob as condições abaixo descritas para cada uma das Figuras, e não podem ser aplicados com base apenas na temperatura de bulbo seco. A temperatura operativa do ar deve ser determinada de acordo com 7.3 desta Parte da ABNT NBR 16401. Os requisitos de 6.3.3 e 6.3.4 devem ser atendidos. Para comprovação de atendimento à esta Parte da ABNT NBR 16401, ver Seções 8 e 9.

Os limites superior e inferior de umidade relativa devem estar em conformidade com a ABNT NBR 17037.

A zona de conforto térmico em tom mais escuro é a mesma em ambas as figuras. A zona de conforto em tom mais claro representa a alteração desta em função de:

a) isolamento da roupa (1,0 clo) e

b) taxa metabólica (2,0 met).

Na Figura 1, as seguintes condições devem ser atendidas:

i) taxa metabólica de 1,3 met;

ii) vestimenta 1,0 clo ou 0,65 clo (valores interpolados de clo não são permitidos); e,

iii) velocidade do ar média de 0,1 m/s.

Na Figura 2:

iv) taxa metabólica de 1,3 met ou 2,0 met (valores interpolados de met não são permitidos);

v) vestimenta de 0,65 clo;

vi) velocidade do ar média de 0,1 m/s.

Projeto em Consulta Nacional

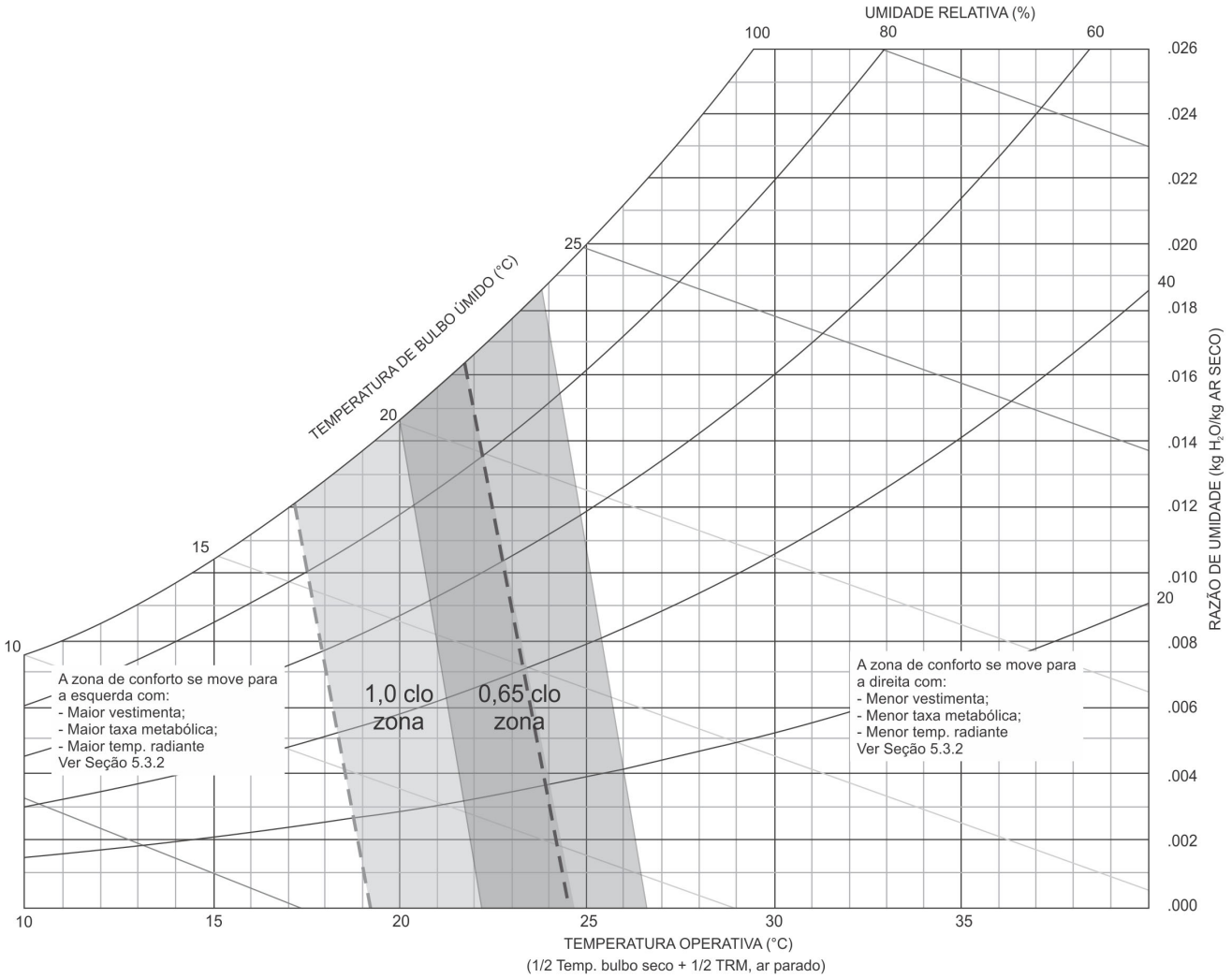


Figura 1 – Exemplo de zona de conforto térmico pelo método analítico – Efeito da elevação no valor da vestimenta (1,0 clo)

Projeto em Consulta Nacional

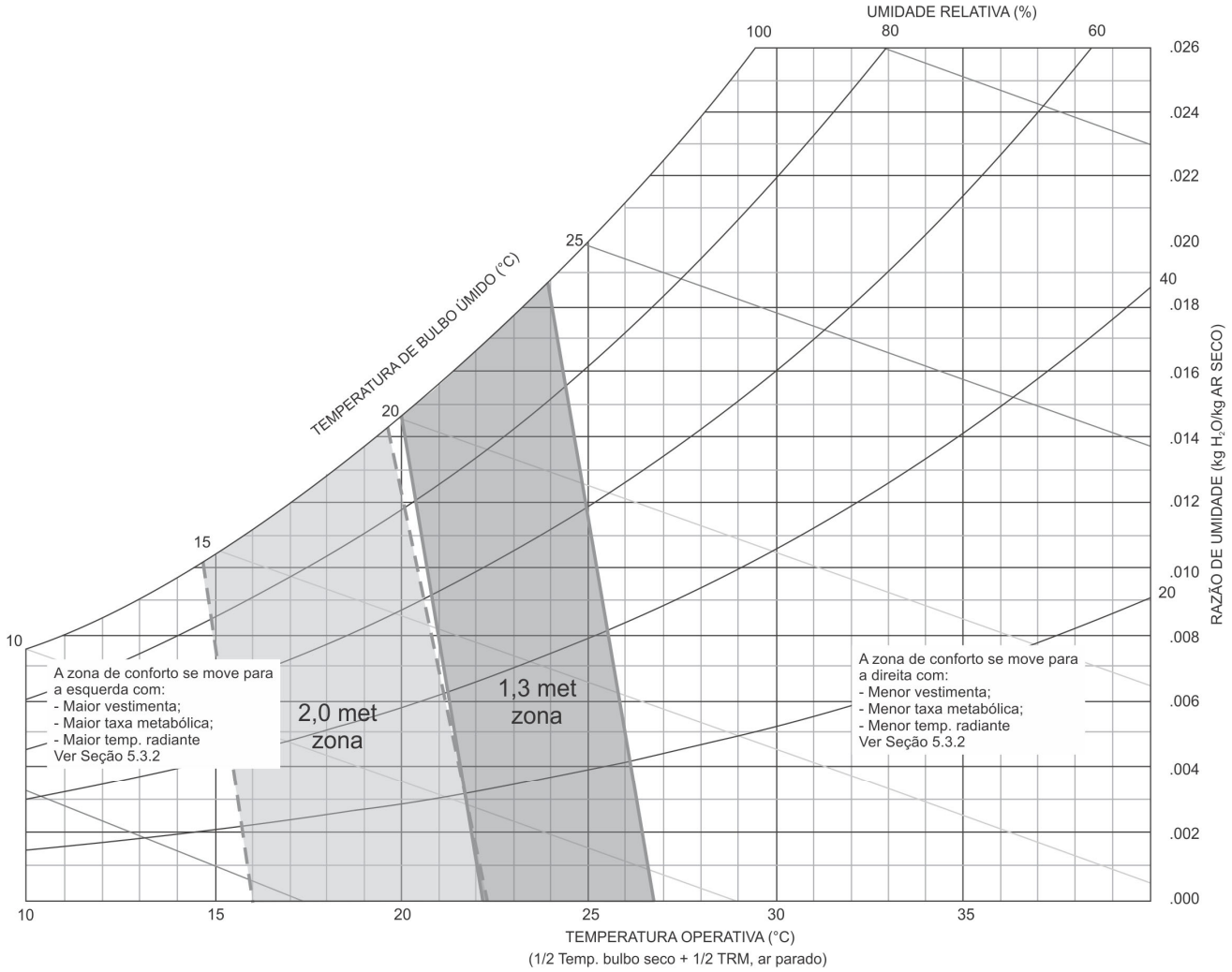


Figura 2 – Exemplo de zona de conforto térmico pelo método analítico – Efeito da elevação no valor da taxa metabólica (2,0 met)

Tabela 3 – 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 3 determina a faixa de valores recomendados para o PMV e PPD para aplicações típicas, sendo também a base do método analítico conforme 6.3. A zona de conforto é determinada pela combinação entre as seis variáveis de conforto térmico para as quais o PMV está dentro dos limites apresentados na Tabela 3. O PMV deve ser calculado e, caso o valor resultante esteja dentro das variações recomendadas, as condições estão dentro da zona de conforto.

Projeto em Consulta Nacional

O uso do modelo do PMV nesta Parte da ABNT NBR 16401 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. Em 6.3.2, estão descritos o método e os critérios requeridos para os ajustes necessários.

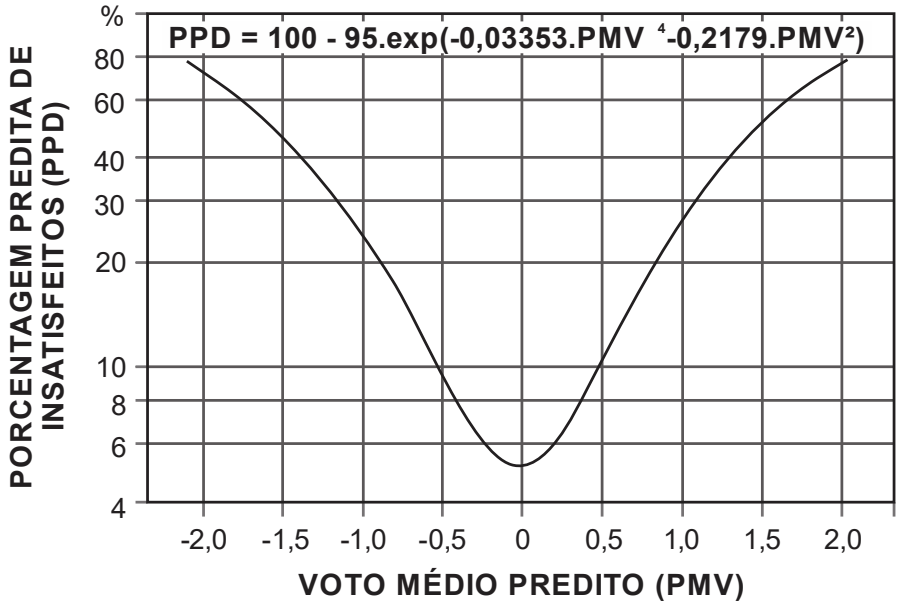


Figura 3 – Porcentagem predita de insatisfeitos (PPD) em função do voto médio predito (PMV)

Tabela 4 – Ambiente termicamente aceitável para o conforto térmico geral

PPD	PMV
< 10	–0,5 < PMV < +0,5

6.3.1.3 Ajuste da temperatura radiante média

Quando a irradiância 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 seguintes métodos alternativos:

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) é 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 a seguir descritas forem atendidas:

1) o espaço possui uma estratificação de temperatura do ar que atende aos requisitos de 6.3.3;

2) o espaço não possui superfícies radiantes ativas;

Projeto em Consulta Nacional

3) as paredes opacas do envelope da edificação (paredes, piso, telhado) atendem aos requisitos do fator de transmitância (U fator) apresentados na 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 5, 6, 7 ou 8. A interpolação entre os valores dentro de uma única Tabela (Tabelas 5, 6, 7 e 8) é permitido (mas não entre Tabelas). As propriedades de absortância solar para tecidos de dispositivos de sombra (cortinas e persianas) utilizados nas Tabelas 5, 6, 7 e 8 devem adotar a cor mais parecida da Tabela 8, a menos que haja dados mais específicos fornecidos pelo fabricante.

As Tabelas 5 a 8 apresentam os critérios que permitem o uso da temperatura radiante média de 2,8 °C superior à temperatura média do ar para unidades de vidro de alto desempenho (ver Tabela 5); unidades de vidro claras e de baixo desempenho (ver Tabela 6); unidades de vidro colorido (ver Tabela 7); e vidros eletroquímicos, conforme a Tabela 8, Seção D.2, alínea -e), para uma descrição de f_{bes}.

Tabela 5 – Unidades de vidro com alto desempenho (*low-e*)

Distância do ocupante representativo a partir da face interna da janela ou da superfície de sombreamento m	Fração do corpo exposta ao sol (fbes) %	Transmitância solar do vidro (T_{sol}) %	Coeficiente de ganho radiante indireto (FS- T_{sol}) %	Fator de abertura do dispositivo de sombreamento %	Absortância solar do dispositivo de sombreamento interno %
≥ 1,5	≤ 50	≤ 35	≤ 4,5	≤ 9	≤ 65
≥ 1,6	≤ 100	≤ 35	≤ 4,5	≤ 5	≤ 65

Tabela 6 – Unidades de vidro claras e de baixo desempenho

Distância do ocupante representativo a partir da face interna da janela ou da superfície de sombreamento m	Fração do corpo exposta ao sol (fbes) %	Transmitância solar do vidro (Tsol) %	Coeficiente de ganho radiante indireto (FS- T_{sol}) %	Fator de abertura do dispositivo de sombreamento %	Absortância solar do dispositivo de sombreamento interno %
≥ 3,3	≤ 50	≤ 83	≤ 10	≤ 1	≤ 25
≥ 4,4	≤ 50	≤ 83	≤ 10	≤ 1	≤ 65
≥ 3,7	≤100	≤ 83	≤ 10	≤ 1	≤ 25
≥ 4,9	≤ 100	≤ 83	≤ 10	≤ 1	≤ 65

Projeto em Consulta Nacional

Tabela 7 – Unidades de vidro colorido

Distância do ocupante representativo a partir da face interna da janela ou da superfície de sombreamento m	Fração do corpo exposta ao sol (fbes) %	Transmitância solar do vidro (Tsol) %	Coeficiente de ganho radiante indireto (FS- T_{sol}) %	Fator de abertura do dispositivo de sombreamento %	Absortância solar do dispositivo de sombreamento interno %
≥ 1,6	≤ 50	≤10	≤ 20	≤8	≤ 25
≥ 1,9	≤ 50	≤10	≤ 20	≤ 1	≤ 65
≥ 1,8	≤ 100	≤10	≤ 20	≤ 1	≤ 25
≥ 2,3	≤ 100	≤ 10	≤ 20	≤ 1	≤ 65
≥ 2,2	≤ 50	≤15	≤ 8	Sem sombreamento	Sem sombreamento

Tabela 8 – Unidades de vidro dinâmico

Distância do ocupante representativo a partir da face interna da janela ou da superfície de sombreamento m	Fração do corpo exposta ao sol (fbes) %	Transmitância solar do vidro (Tsol) %	Coeficiente de ganho radiante indireto (FS- T_{sol}) %	Fator de abertura do dispositivo de sombreamento %	Absortância solar do dispositivo de sombreamento interno %
≥ 1,9	≤ 50	≤ 0,5	≤10	N/A	Sem sombreamento.
≥ 1,9	≤100	≤ 0,5	≤ 10	N/A	Sem sombreamento
≥ 2,4	≤50	≤ 3	≤ 10	N/A	Sem sombreamento
≥ 2,9	≤ 100	≤ 3	≤ 10	N/A	Sem sombreamento
≥ 3,0	≤ 50	≤ 6	≤ 10	N/A	Sem sombreamento.
≥ 3,1	≤ 50	≤ 9	≤ 10	N/A.	Sem sombreamento

Projeto em Consulta Nacional

Tabela 9 – 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, amarelo, bege, pérola)	Escurecidos (peltre, fumaça, cinza, cinza-claro)	Escuros (carvão, grafite, castanho)

6.3.2 Método da zona gráfica para altas velocidades do ar

6.3.2.1 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 ABNT NBR 16401, em que os ocupantes desenvolvam atividades metabólicas que resultem em um valor médio dentro do intervalo de 1,0 met e 2,0 met, isolamento da vestimenta entre 0 clo e 1,5 clo e velocidade média do ar superior a 0,20 m/s. Este método deve ser utilizado em conjunto com as informações descritas no Anexo D, já que este utiliza o método da zona analítica de conforto apresentado em 6.3.1 combinado com o método de temperatura efetiva padrão (SET).

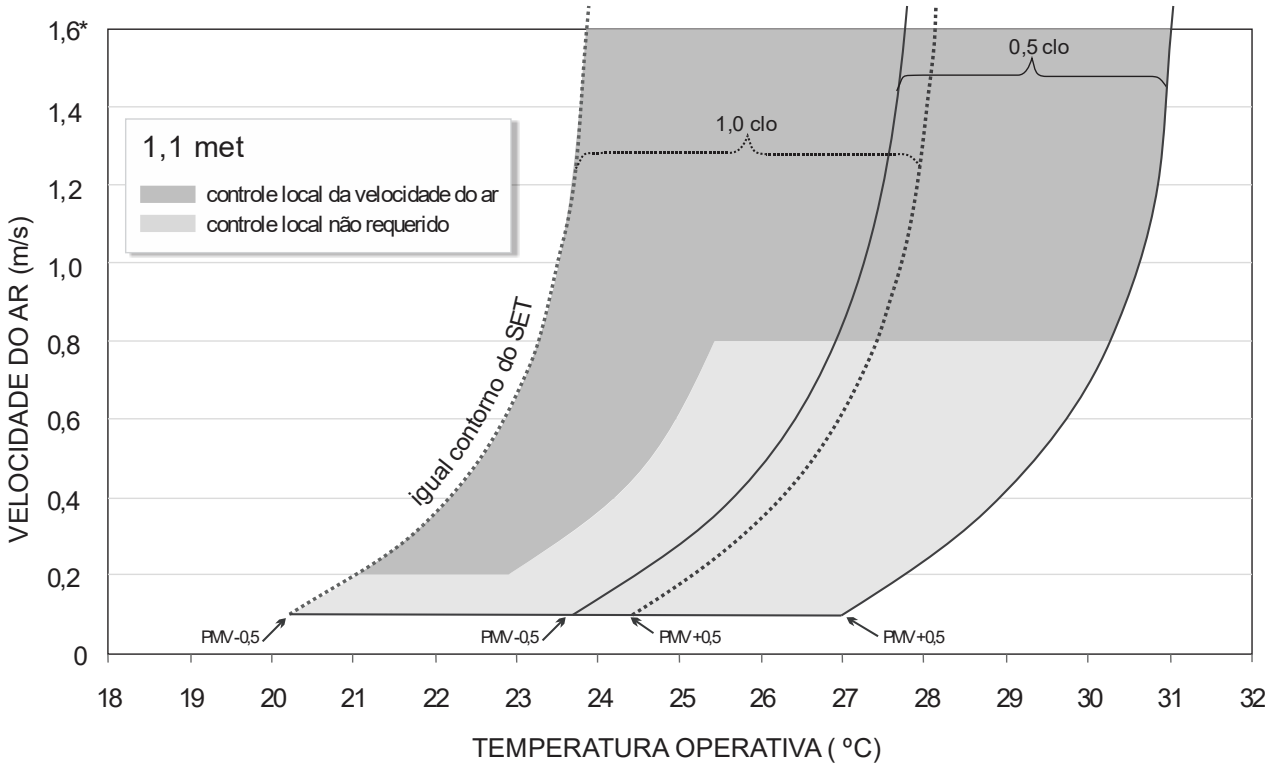
6.3.2.2 Método

A Figura 4 representa dois casos particulares de igual perda de calor pela pele criado pelo modelo SET. 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 em que 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 realize a validação e a 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 em 6.3.1.3. A Figura 5 descreve as etapas para se determinar os limites das entradas de velocidade do ar para a correta utilização do modelo SET.

Projeto em Consulta Nacional



* Não existe limite superior para a velocidade do ar quando o ocupante possui o controle local.

Figura 4 – Intervalos aceitáveis de temperatura operativa (°C) e velocidade do ar (m/s) para as zonas de 0,5 e 1,0 clo representadas nas Figuras 1 e 2, a uma razão de umidade-limite de 0,010 kg•H_2O/kg

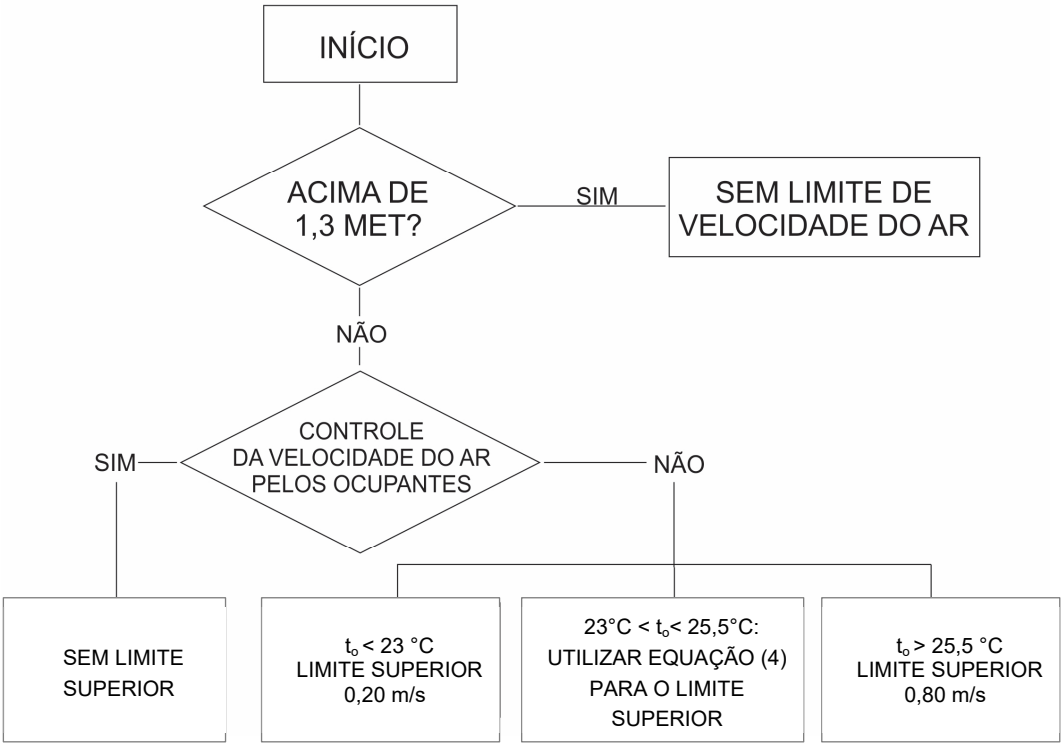


Figura 5 – Fluxograma para a determinação dos limites de velocidade do ar conforme 6.3

Projeto em Consulta Nacional

6.3.2.3 Limites para velocidade do ar com controle local

A área completa na Figura 4, sem limite aplicável de velocidade do ar, para uma determinada vestimenta deve ser utilizada quando os ocupantes têm o controle local da velocidade do ar. Por controle local, entende-se que:

a) um controle local é fornecido a cada seis ocupantes;

b) um dispositivo de controle local existente no máximo a cada 84 m^2;

c) em espaços compartilhados por diferentes ocupantes com atividades diversas, como, por exemplo, salas de aula, salas de videoconferência, ao menos um controle deve ser fornecido em cada espaço, independentemente do tamanho espaços desta mesma natureza, que podem ser divididos por divisórias móveis e devem possuir um controle em cada subdivisão.

A faixa de variação do controle deve prever velocidades do ar adequadas para as 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, ao 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.

6.3.2.4 Limites para velocidade do ar sem controle local

Caso os ocupantes não tenham controle sobre a velocidade do ar, os limites estabelecidos na Figura 4 (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.

a) para temperaturas operativas acima de 25,5 °C, o limite superior da velocidade do ar deve ser de 0,8 m/s;

b) para temperaturas operativas entre 23 °C e 25,5 °C, a velocidade média do ar permitida deve seguir a curva de igual contorno do set da Figura 4; é permitido aproximar a curva pela Equação (2);

c) 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;

$$v_a = 50{,}49 - 4{,}404\,7.t_a + 0{,}096\,425.(t_a)^2 \qquad (m/s, °C) \qquad (2)$$

EXCEÇÕES c):

1) Ocupantes representativos com isolamento da vestimenta superior a 0,7 clo;

2) Ocupantes representativos com taxas metabólicas superiores a 1,3 met.

6.3.3 Desconforto térmico local

6.3.3.1 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

Projeto em Consulta Nacional

do contato com pisos frios ou quentes. Os requisitos para os limites destes valores são especificados em 6.3.3. Estes 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 de 6.3.3, 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 ABNT NBR 16401 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 apresentado na alínea (b) de 6.3.2.4, os requisitos de 6 não se aplicam a eles.

6.3.3.2 Assimetria de temperatura radiante

A assimetria da temperatura radiante não pode ultrapassar os limites especificados na Tabela 10.

Tabela 10 – Assimetria máxima permitida na temperatura radiante

Assimetria na temperatura radiante Δt_{pr}* °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
* Diferença entre a temperatura radiante plana em duas direções opostas.			

6.3.3.3 Velocidade do ar na altura do tornozelo

Os valores de velocidade do ar a 0,1 m de altura em relação ao piso devem ser inferiores ao valor resultante da Equação (3), ou da região destacada na Figura 6.

$$v_{\text{tornozelo}} < 0{,}35 \cdot TS + 0{,}39 \qquad (v_{\text{tornozelo}} \text{ em m/s}) \tag{3}$$

onde

$v_{\text{tornozelo}}$ é a velocidade do ar a 0,1 m de altura do piso, expressa em metros (m);

TS é a sensação térmica relativa ao corpo inteiro.

NOTA Este valor é equivalente ao PMV calculado utilizando como dados de entrada o valor médio da temperatura do ar e da velocidade do ar resultante de duas alturas: 0,6 m e 1,1 m para ocupantes sentados; e 1,1 m e 1,7 m para ocupantes em pé, expressa em metros (m).

NOTA Os requisitos em 6.3.4.3 não se aplicam quando o método apresentado em 6.3.3 é utilizado.

Projeto em Consulta Nacional

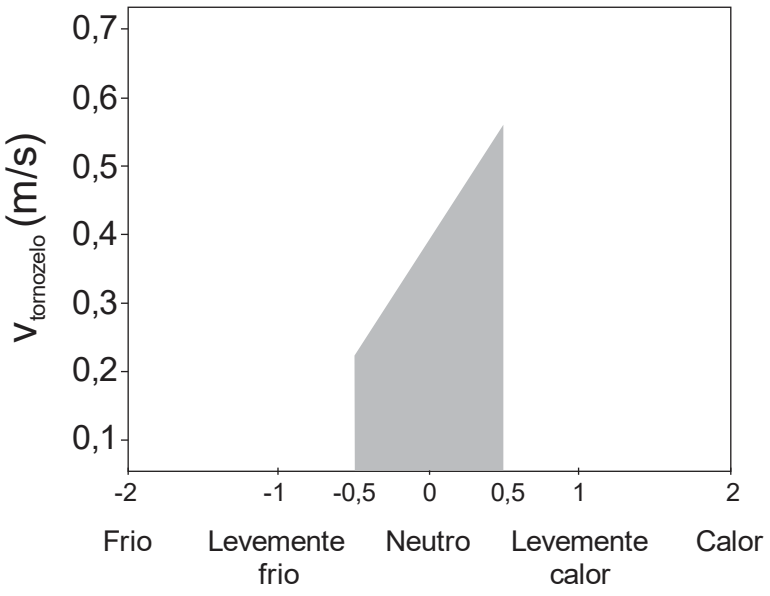


Figura 6 – Limites de velocidade do ar a 0,1 m acima do piso em função da sensação térmica do corpo inteiro

6.3.3.4 Gradiente vertical de temperatura

As diferenças na temperatura do ar entre o nível da cabeça e do tornozelo não podem exceder 3 °C para ocupantes sentados e 4 °C para ocupantes em pé.

6.3.3.5 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.

6.3.4 Variações de temperatura com o tempo

6.3.4.1 Aplicabilidade

As flutuações de temperatura do ar e/ou radiante média, podem afetar o conforto dos ocupantes. Estas flutuações, se controladas pelos ocupantes, não apresentam impacto negativo no conforto e, neste caso, os requisitos de 6.3.4 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, caso sejam aplicados os requisitos da Seção 6.

6.3.4.2 Variações cíclicas

Variações cíclicas se referem às variações na temperatura operativa, fazendo com que ela oscile em períodos inferiores a 15 min, em um determinado período de tempo. Para a aplicação desta Parte da ABNT NBR 16401, 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 é tratada como uma rampa, e os requisitos de 6.3.4.2 se aplicam.

Nos casos em que as variações sejam realizadas em períodos inferiores a 15 min, em conjunto com variações de período maiores, 6.4.1.2 se aplica ao período com variação inferior a 15 min, e 6.3.4.2 se aplica nos períodos maiores.

Projeto em Consulta Nacional

6.3.4.3 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 as rampas são provocadas por mudanças controladas. Os requisitos desta Seção se aplicam às alterações e rampas.

A Tabela 11 especifica a máxima alteração na temperatura operativa permitida em um período de tempo. Para qualquer período de tempo, o requisito mais restritivo da Tabela 4 é aplicado. Por exemplo, a temperatura operativa não pode mudar mais que 2,2 °C durante o período de 1 h, também não pode mudar mais que 1,1 °C durante períodos de 0,25 h, em um período total de 1 h. Caso as variações sejam criadas a partir do controle do usuário, valores maiores podem ser aceitos.

Tabela 11 – Valores-limite 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

6.4 Determinação das condições térmicas aceitáveis em ambientes ventilados naturalmente e controlados pelos usuários (modelo adaptativo)

6.4.1 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:

a) não pode existir tipo de sistema de condicionamento artificial mecânico algum operando durante o período avaliado;

b) os ocupantes devem desenvolver atividades sedentárias com taxas metabólicas entre 1,0 met e 1,5 met (ver Anexo A para estimativas de taxas metabólicas);

c) os ocupantes podem variar a sua vestimenta em uma faixa de ao menos 0,5 clo a 1,0 clo (ver Anexo B para estimativa de isolamento de vestimentas);

d) a temperatura média predominante do ar externo deve estar dentro do intervalo entre 10,0 °C e 33,5 °C.

6.4.2 Método

A temperatura operativa interna admissível deve ser determinada a partir dos limites de 80 % de aceitabilidade da Figura 7.

NOTA Os limites de 90 % de aceitabilidade são apenas informativos.

Para a determinação da faixa de temperatura operativa aceitável da Figura 7, devem ser utilizadas as Equações (4) (limite superior) e (5) (limite inferior). A temperatura média predominante do ar externo deve ser calculada de acordo com 6.4.3.

Projeto em Consulta Nacional

Limite superior de 80 % de aceitabilidade (°C) = 0,31 $t_{pma(out)}$ + 21,3; (4)

Limite inferior de 80 % de aceitabilidade (°C) = 0,31 $_{tpma(out)}$ + 14,3. (5)

Neste método, os efeitos de desconforto térmico local, roupa, atividade metabólica, umidade e velocidade do ar não podem ser analisados isoladamente, pois já foram considerados pelos limites da Figura 7.

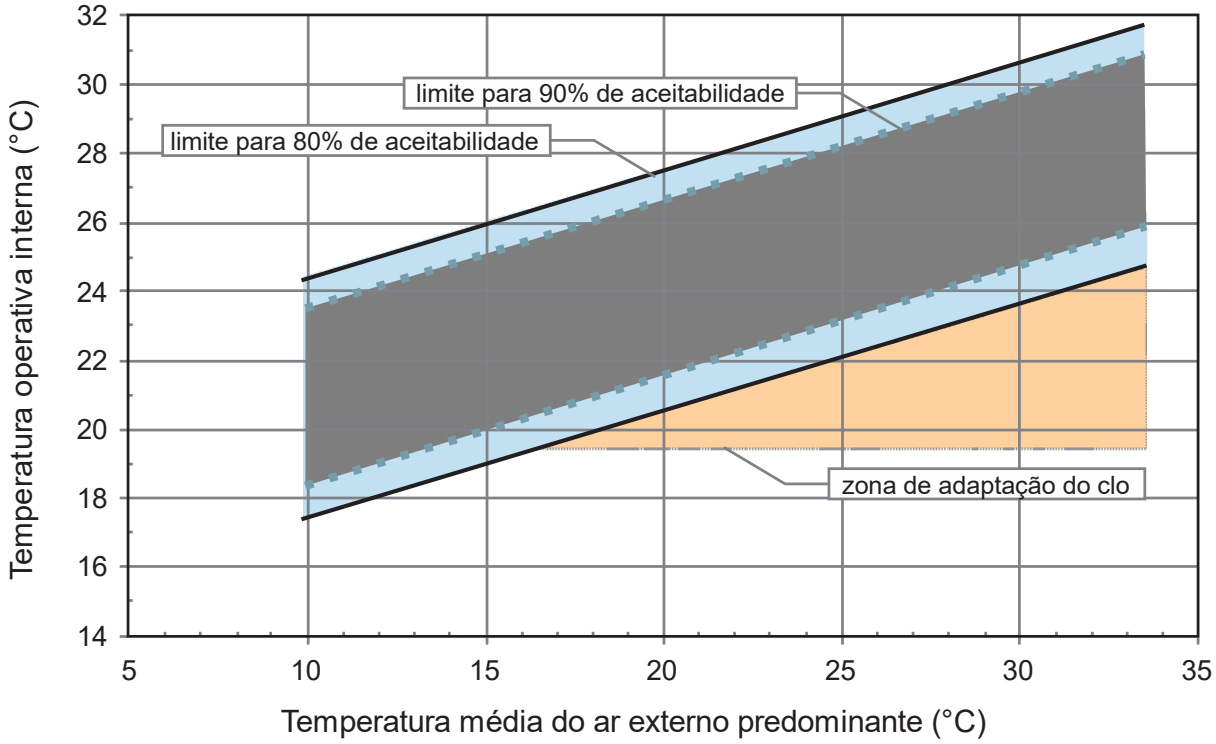


Figura 7 – Faixa de temperatura operativa aceitável para ambientes naturalmente ventilados

Caso a temperatura operativa interna seja superior a 25 °C, o ajuste dos limites superiores de aceitabilidade térmica da Figura 7 deve ser permitido, de acordo com o Δt_o da Tabela 12.

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 7 deve ser utilizada. Nesses casos, o novo limite inferior para 80% de aceitabilidade passa a ser de 19,5 °C.

Tabela 12 – Aumento nos limites de temperatura operativa aceitável (Δt_o) em ambientes naturalmente condicionados (Figura 7) resultantes de velocidades do ar acima de 0,3 m/s

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

6.4.3 Temperatura média predominante do ar externo

Nos espaços que atendem aos critérios estabelecidos em 6.4, a faixa de temperatura operativa permitida no interior do edifício deve ser determinada a partir da Figura 7, sendo a temperatura média

Projeto em Consulta Nacional

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 (6):

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

onde

$t_{pma\ (out)}$ é a temperatura média predominante do ar externo, expressa em graus Celsius (°C);

t_{od-1} é a temperatura média do dia anterior ao dia em questão, expressa em graus Celsius (°C);

t_{od-2} é a temperatura média do dia anterior ao dia anterior, e assim por diante, expressa em graus Celsius (°C).

A temperatura média do ar externo diária para cada um dos dias sequenciais (t_{od-1}; t_{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 h 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.

7 Formas de avaliar conforto térmico por meio de medições

A avaliação das condições de conforto térmico em um edifício existente pode ser realizada 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 necessário dizer em quais condições o edifício foi ensaiado ao apresentar condições de conforto térmico.

7.1 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 G para 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).

7.1.1 Pesquisas de satisfação

A pesquisa de satisfação considera quão satisfeito o ocupante está em 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.

7.1.2 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

Projeto em Consulta Nacional

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.

7.1.3 Formas de análise

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

7.1.3.1 Pesquisas de satisfação

Calcular a porcentagem 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 às quantificações percentuais.

7.1.3.2 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 realizado 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.

7.2 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 realizada de acordo com os Anexos A e B. No caso do índice PMV/PPD, são utilizadas todas as seis variáveis. Já no caso do modelo adaptativo, só são 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 determinados na Tabela 13, que se baseiam nos critérios observados na ISO 7726 (1998).

Tabela 13 – Faixa de medição instrumental e precisão requerida dos equipamentos

Variável ambiental	Faixa de medição	Acuracidade
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^2 a + 35 W/m^2	± 5 W/m^2

Projeto em Consulta Nacional

7.2.1 Medição da temperatura do ar

A temperatura do ar geralmente é determinada 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 a temperatura, a leitura do sensor corresponde somente à temperatura na qual 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 predeterminados que devem ser representativos da área ocupada. Estes níveis correspondem respectivamente a: 0,10 m, 0,60 m e 1,10 m para ocupantes sentados, e 0,10 m; 1,10 m e 1,70 m 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.

7.2.1.1 Tipos de sensores de temperatura do ar

Os tipos de sensores de temperatura do ar são descritos a seguir:

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).

7.2.1.2 Precauções a serem tomadas durante a medição da temperatura do ar

Para a redução do efeito da radiação devem ser tomados cuidados para proteger o sensor contra os efeitos da radiação proveniente de superfícies vizinhas, caso contrário, o valor medido não corresponde ao 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 por meio da utilização de um sensor polido, quando este for de metal, ou por meio da utilização de um sensor coberto por tinta reflexiva, quando este for do tipo isolante;

b) reduzindo a diferença de temperatura entre o sensor e as paredes adjacentes a ele. Quando essa redução não é 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 mm 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 pode ser concretizada em um período menor que 1,5 vez

Projeto em Consulta Nacional

o tempo de resposta (90 %) do sensor. Um sensor responde mais rapidamente quanto menor a temperatura do sensor e mais baixo seu calor específico e quanto melhor forem as trocas térmicas com o ambiente.

7.2.1.3 Temperatura local do ar

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

7.2.2 Medição da temperatura radiante média

A temperatura radiante média é determinada 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 em 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 trabalhoso, uma vez que pode haver várias fontes emissoras de radiação e de variados tipos.

Para fins da Seção 6, 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 15 cm. Quanto menor o diâmetro do globo, maior é 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, com cobertura eletroquímica ou pintura com tinta negra.

7.2.2.1 Princípios de medição e cálculo

O globo situado em um ambiente tende a um balanço térmico sob os efeitos das trocas térmicas devidas à radiação, proveniente de diferentes fontes do ambiente, e devidas aos efeitos da convecção. Nas medições de conforto térmico é necessário primeiramente determinar o coeficiente de troca de calor por convecção do globo [Equações (7) e (8)], para depois adotar a equação mais adequada (Equação (9) ou (10)), que deve ser aquela representada pelo coeficiente de maior valor. A verificação do coeficiente de convecção deve ser realizada a partir das Equações (7), (8), (9) e (10):

a) convecção natural:

$$h_{cg} = 1,4\sqrt[4]{\frac{\Delta t}{D}} \qquad (7)$$

Projeto em Consulta Nacional

b) convecção forçada:

$$h_{cg} = 6,3.\frac{v_a^{0,6}}{D^{0,4}} \quad (8)$$

onde

h_{cg} é o coeficiente de troca de calor por convecção do globo, expresso em Watts por metro quadrado Celsius W/(m^2.°C);

Δt é a diferença de temperatura (tg – ta), expressa em graus Celsius (°C);

D é o diâmetro do globo, expresso em metros (m) (normalmente 0,15 m);

v_a é a velocidade média do ar, expressa em metros por segundo (m/s).

Determinado o maior coeficiente de convecção, devem ser adotadas as Equações (9) e (10), conforme a seguir

a) convecção natural

$$t_r = \sqrt[4]{(t_g + 273)^4 + (0,4 \cdot 10^8) \cdot \sqrt[4]{|t_g - t_a|} \cdot (t_g - t_a)} - 273 \quad (9)$$

a) convecção forçada

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

7.2.2.2 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 erros significativos de medições. Assim, as seguintes precauções devem ser tomadas:

a) o tempo de resposta do termômetro de globo é de aproximadamente 20 min a 30 min, de acordo com as características do globo e as condições ambientais. Leituras sucessivas permitem 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;

b) 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;

c) o uso do termômetro de globo representa uma aproximação da temperatura radiante média a que está sujeita uma pessoa devido à sua forma esférica, que não corresponde à 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;

d) a utilização do termômetro de globo quando exposto à radiação de ondas curtas (sol, por exemplo) requer uma pintura que apresente a mesma absortividade para ondas curtas que as superfícies das roupas (cinza médio, por exemplo). Uma possível alternativa é a realização do cálculo considerando a absortividade da roupa utilizada pelo usuário.

Projeto em Consulta Nacional

7.2.3 Medição de velocidade do ar

A velocidade do ar é um parâmetro que deve ser considerado 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 sensitividade do sensor em 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 min a 3 min. As variações que ocorrem durante um período maior que 3 min 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 três níveis prescritos, para pessoas sentadas ou em pé.

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 (ver Figuras 1 e 2). Uma média adequada deve incluir velocidades do ar incidentes em partes despidas do corpo, por exemplo, a cabeça, já que as partes possuem um maior potencial de resfriamento e de desconforto localizado.

7.2.3.1 Tipos de sensores de velocidade do ar e medição

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

a) por meio da utilização de um instrumento omnidirecional, sensível à magnitude da velocidade do ar, independente da sua direção (esfera aquecida);

b) sensor unidirecional, desde que a direção predominante da velocidade do ar seja determinada previamente às medições. Este procedimento pode ser realizado utilizando *sticks* de fumaça sem tipo de odor algum.

7.2.3.2 Precauções a serem tomadas na medição da velocidade do ar

Para a medição da velocidade do ar, devem ser considerados os seguintes fatores:

a) calibração do instrumento;

b) tempo de resposta de sensor;

c) período de medição (tempo).

Os 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.

Projeto em Consulta Nacional

7.2.4 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, a temperatura de ponto de orvalho e a 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 considerado 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, utilizando 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 13.

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 determinada por meio da Equação (11).

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

$$UR = e \times 100 \tag{11}$$

7.2.4.1 Precauções a serem tomadas na medição da umidade relativa do ar

Devem ser tomadas as seguintes precauções para a medição da umidade do ar:

a) o termômetro de bulbo úmido deve ser suficientemente ventilado, considerando uma velocidade do ar entre 4 m/s e 5 m/s;

b) os termômetros de bulbo seco e úmido devem ser protegidos da radiação por algum tipo de barreira;

c) a mecha ao redor do termômetro de bulbo úmido deve se estender além da parte sensitiva do bulbo, eliminando os erros que ocorrem devido à condução térmica no termômetro;

d) 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 às soluções puras;

e) a mecha do termômetro de bulbo úmido deve permitir que a água circule facilmente por atração capilar, principalmente em situações em que a umidade específica do ar é baixa.

Projeto em Consulta Nacional

7.2.5 Posição espacial para medição das variáveis

7.2.5.1 Localização das medições

As medições das variáveis devem ser realizadas em locais ocupados, que sejam representativos de onde os usuários costumam ficar. Caso o local de ocupação não seja conhecido, as medições devem incluir ao 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 realizadas em localizações que resultem em situações críticas, como perto de janelas, perto de saídas de difusores de ar, cantos e recessos.

7.2.5.2 Altura das medições

Temperatura do ar e velocidade do ar devem ser medidas a 0,1 m, 0,6 m e 1,1 m de altura para ocupantes sentados e a 0,1 m, 1,1 m, 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 em 6.3.3.

7.2.6 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 realizadas em períodos nos quais acontecimentos críticos são esperados.

Se existem mudanças significativas na temperatura do ar, as medições devem ser realizadas a cada 5 min por no mínimo 2 h, para verificar o atendimento aos limites especificados por esta Parte da ABNT NBR 16401.

A avaliação das medidas de controle das variáveis ambientais deve ser realizada incluindo a acessibilidade, o tempo de resposta e a magnitude da influência sobre o PMV e/ou sensação térmica dos ocupantes.

7.2.7 Medições simplificadas utilizando os sistemas de automação predial

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

7.3 Índices de conforto

Dois índices de conforto podem ser utilizados, conforme a seguir:

— o PMV deve ser utilizado em ambientes continuamente condicionados, sendo que os limites estabelecidos em 6.3.1 estabelecem a zona de conforto para dois tipos de vestimenta. O movimento do ar pode modificar a zona de conforto, como estabelecido em 6.3.2.

— a temperatura operativa deve ser utilizada no modelo adaptativo descrito em 6.4, em ambientes não condicionados e controlados pelos ocupantes. O movimento do ar pode modificar a zona de conforto, como descrito na Tabela 12.

Em ambientes operados por modo misto, isto é, onde são utilizados sistemas de condicionamento em um período do ano e a ventilação natural em outro período, a avaliação do ambiente térmico deve ser

Projeto em Consulta Nacional

realizada pelos 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 descritos em 6.3, quanto os períodos com ventilação natural a partir da aplicação do método apresentado em 6.4.

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 pela referência bibliográfica [5]. O cálculo considera a temperatura do ar e a temperatura radiante média, utilizando a Equação (12):

$$t_o = A \times t_a + (1 - A) \times t_r \tag{12}$$

onde

t_o é a temperatura operativa, expressa em graus Celsius (°C);

A é um coeficiente de ajuste em função da velocidade do ar (ver Tabela 9);

t_a é a temperatura do ar, expressa em graus Celsius (°C);

t_r é a temperatura radiante média, expressa em graus Celsius (°C).

O valor de A é determinado em função da velocidade média do ar (v_a), de acordo com a Tabela 14.

Tabela 14 – Coeficiente de ajuste em função da velocidade do ar

	< 0,2 m/s	0,2 até 0,6 m/s	0,6 até 1,0 m/s
A	0,5	0,6	0,7

Na maioria dos casos em que a velocidade média relativa do ar é baixa (< 0,2 m/s) ou em que a diferença entre a temperatura radiante média e a temperatura 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 met e 1,3 met) e não estejam expostos à luz solar direta.

7.3.1 Avaliações em um instante de tempo

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

Projeto em Consulta Nacional

7.3.2 Avaliações em um intervalo de tempo

Caso existam dados de um período de tempo (dia, estação ou ano), estes dados devem ser utilizados 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 modelo adaptativo do seguinte modo:

Para aceitabilidade, sensação e preferência, usar o EH:

Para o PMV:

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

onde

H_{disc} = 1 se o |PMV| estiver fora do intervalo de ± 0,5;

0 se o oposto ocorrer.

Neste caso, H_{disc} representa as horas de desconforto.

Para o modelo adaptativo:

$$EH = \Sigma\ (H_{>limite\ superior} + H_{<limite\ inferior}),$$

onde

$H_{>limite\ superior}$ = 1, se $t_o > t_{limite\ superior}$; e 0 se o oposto ocorrer;

$H_{>\ limite\ inferior}$ = 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:

a) quando o valor de H se localizar acima do limite superior da zona de aceitabilidade da Figura 7, ocorre o desconforto por calor;

b) quando o valor de H se localizar abaixo do limite inferior da zona de aceitabilidade da Figura 7, 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.

8 Comprovação de atendimento à ABNT NBR 16401-2 na etapa do projeto

8.1 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.

Projeto em Consulta Nacional

8.2 Documentação

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

NOTA Alguns dos requisitos nos itens 1 e 3 a seguir não se aplicam em ambientes naturalmente condicionados ou mistos.

1) a temperatura operativa e a umidade, incluindo tolerâncias, as temperaturas externas de projeto (ver referência bibliográfica [5]) e as cargas internas devem ser listadas. As horas e as condições de não atendimento aos requisitos de projeto estabelecidas na Seção 6 devem ser documentadas. Em edifícios complexos e passivos, o ideal é que as horas de não atendimento sejam calculadas com uso de simulação dinâmica horária ao longo de 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 a estratificação no deslocamento de ar, devem ser apresentados os cálculos que demonstrem que o desconforto local se encontra dentro dos limites estipulados em 6.3.3;

4) no caso de projetos que assumem o uso de velocidade do ar intensificada com controle local, o tipo de controle e equipamento deve ser especificado;

5) caso o ambiente possua sistema de climatização, o nível de classificação de controle ambiental térmico deve ser documentado para cada tipo de espaço. Devem ser indicadas na documentação do projeto a(s) medida(s) de controle ambiental previstas, quais variáveis elas controlam e qual o intervalo de ajuste. O nível de classificação de controle ambiental deve ser definido conforme a Tabela 15. Cada medida de controle deve estar facilmente acessível e modificar, em ao menos ± 0,5 PMV, as condições do ambiente ou atender aos critérios da Tabela 16.

Tabela 15 – Classificação de controle ambiental térmico (continua)

Nível	Medida(s) de controle necessária(s) para atingir o nível	Exemplos de casos que atendem ao critério
1	Cada ocupante dispõe de duas ou mais medidas de controle para seu microclima individual	• Escritório com um ocupante que possui ventilador de teto e um termostato acessível e regulável. • Escritório com múltiplos ocupantes com ventiladores de mesa e aquecedores portáteis individuais.
2	Cada ocupante dispõe de uma medida de controle para seu microclima individual	• Escritório com um ocupante que possui termostato acessível e regulável. • Escritório com múltiplos ocupantes com ventiladores de mesa individuais.

Projeto em Consulta Nacional

Nível	Medida(s) de controle necessária(s) para atingir o nível	Exemplos de casos que atendem ao critério
3	A sala ou zona térmica oferece duas ou mais medidas de controle do ambiente compartilhado	• Escritório com múltiplos ocupantes com termostato regulável e ventilador(es) de teto com controles acessíveis.
4	A sala ou zona térmica oferece uma medida de controle do ambiente compartilhado	• Escritório com múltiplos ocupantes com termostato regulável e acessível.
5	Os ocupantes não possuem controle de variável ambiental alguma	• Escritório com múltiplos ocupantes sem termostato acessível e ajustável.

Tabela 16 – Medidas de controle acessíveis aos usuários

Abrangência/tipo de sistema	Variável controlada/ajustada	Intervalo de ajuste
Sistema do ambiente (sala ou zona térmica)	Temperatura média do ar	± 3,0 °C
	Velocidade média do ar	0,3 m/s
	Temperatura radiante média	± 0,5 °C
Sistema individual de condicionamento (PCS)	Velocidade do ar em direção à face, cabeça ou parte superior do corpo	0,3 a 0,8 m/s
	Perda de calor do corpo quando o efeito é direcionado aos pés	6,0 W
	Capacidade térmica quando o efeito é direcionado aos pés	6,0 W (aquecimento)
	Capacidade térmica quando o efeito é direcionado às costas ou pélvis	14,0 W (aquecimento) 20,0 W (resfriamento)
	Potencial de correção	± 2 °C

Os limites a serem usados no cumprimento desta Parte da ABNT NBR 16401 são:

a) para edifícios condicionados, deve-se considerar os limites de PMV ± 0,5 ou os limites apresentados em 6.3.1, apresentando o número de horas de desconforto excedidas (EH);

b) para edifícios sem condicionamento artificial, deve-se considerar os limites apresentados em 6.4, apresentando o 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 assumido o período em

que há predomínio de operação do condicionamento artificial e da ventilação natural, e aplicados os limites indicados em 6.3.1 e 6.4 respectivamente.

9 Comprovação de atendimento à ABNT NBR 16401-2 de edificações existentes

Em edifícios existentes, a comprovação pode ser realizada 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 abranger períodos representativos destas variações, e em climas com pequenas variações, é possível utilizar apenas os dias típicos.

9.1 Por meio da sensação dos usuários

O limite a ser usado no cumprimento desta Parte da ABNT NBR 16401 é o EH, conforme 7.3.2.

9.2 Por meio de índices de conforto

Os limites a serem usados no cumprimento desta Parte da ABNT NBR 16401 são:

a) para edifícios condicionados, deve-se considerar os limites de PMV ± 0.5 ou os limites indicados em 6.3 (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 indicados em 6.4 devem ser considerados, apresentando o número de horas excedidas (EH);

c) para edifícios com condicionamento que operam em modo misto, devem ser utilizados os limites descritos em 9.2-a) e 9.2-b);

d) dependendo do modo de operação predominante do período avaliado, considerar 8.2-a) e 8.2-b).

Projeto em Consulta Nacional

Projeto em Consulta Nacional

Anexo A
(normativo)

Níveis de atividade metabólica

A.1 Utilização dos dados de taxa metabólica

Os dados apresentados na Tabela A.1 foram reproduzidos da referência bibliográfica [5]. Os valores representam as taxas típicas de metabolismo por unidade de área de superfície corporal de um adulto médio (área de DuBois = 1,8 m^2), considerando as atividades desenvolvidas de modo contínuo. Esta referência bibliográfica 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 inclusas na Tabela A.1. Os usuários desta Parte da ABNT NBR 16401 devem utilizar seu próprio julgamento para combinar as atividades a serem consideradas similares às atividades descritas na Tabela A.1. Alguns dos dados apresentados na Tabela A.1 são descritos em forma de intervalo, e outros como um valor único. O formato para uma determinada entrada é baseado 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 1 h ou menos. Por exemplo, uma pessoa que dentro de 1 h costuma passar 30 min “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. Este cálculo para encontrar o valor médio não pode ser aplicado quando o período de variação é maior que 1 h. Por exemplo, uma pessoa que esteja “levantando/embalando” durante 1 h, e então “arquivando/de pé” durante mais 1 h, 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 ABNT NBR 16401 não pode ser aplicada durante situações nas quais a taxa metabólica média ponderada por um intervalo de tempo ultrapassa 2,0 met.

A taxa metabólica média ponderada por um intervalo de tempo se aplica apenas 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 devem ser consideradas na aplicação desta Parte da ABNT NBR 16401. 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 a 2,0 met. Cada um destes grupos de ocupantes deve ser considerado separadamente quando forem determinadas as condições requeridas de conforto térmico do espaço. Em alguns casos não é possível promover um nível aceitável ou o mesmo padrão de conforto para todos os grupos de ocupantes, como, por exemplo, os clientes de um restaurante e os garçons.

Projeto em Consulta Nacional

Os valores das taxas metabólicas da Tabela A.1 foram determinados nos períodos em que a sensação térmica dos indivíduos avaliados estava próxima à 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 (continua)

Atividade	Taxa metabólica	
	Unidade met	W/m^2
Descansando		
Dormindo	0,7	40
Deitado	0,8	45
Sentado, quieto	1,0	60
Em pé, relaxado	1,2	70
Caminhando (em uma superfície plana)		
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
Atividades de escritório		
Lendo, sentado	1,0	55
Escrevendo	1,0	60
Digitando	1,1	65
Arquivando, sentado	1,2	70
Arquivando, em pé	1,4	80
Caminhando pelo ambiente	1,7	100
Levantando/empacotando	2,1	120
Dirigindo/Pilotando avião		
Automóvel	1,0 a 2,0	60 a 115
Aeronaves, rotina	1,2	70
Aeronaves, aterrisagem com instrumentos	1,8	105
Aeronaves, combate	2,4	140
Veículos	3,2	185
Atividades ocupacionais diversas		
Cozinhando	1,6 a 2,0	95 a 115
Limpando a casa	2,0 a 3,4	115 a 200
Sentado, movimento pesado dos membros	2,2	130

Projeto em Consulta Nacional

Tabela A.1 (conclusão)

Atividade	Taxa metabólica	
	Unidade met	W/m^2
Atividades ocupacionais diversas		
Trabalho de máquina		
Serrar (serra de mesa)	1,8	105
Leve (indústria elétrica)	2,0 a 2,4	115 a 140
Pesado	4,0	235
Manipulação, sacos de 50 kg	4,0	235
Trabalhos com picareta e pá	4,0 a 4,8	235 a 280
Atividades diversas de lazer		
Dançando, atividade social	2,4 a 4,4	140 a 255
Musculação	3,0 a 4,0	175 a 235
Tênis, individual	3,6 a 4,0	210 a 270
Basquetebol	5,0 a 7,6	290 a 440
Luta livre, competição	7,0 a 8,7	410 a 505

Projeto em Consulta Nacional

Anexo B
(normativo)

Isolamento da vestimenta

B.1 Geral

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 ABNT NBR 16401. O isolamento da vestimenta pode ser expresso de diversas maneiras. Nesta Parte da ABNT NBR 16401, o isolamento corporal proveniente de um conjunto de roupas é expresso em um valor de “clo” (I_{cl}). Para mais informações, usuários não familiarizados com a terminologia do isolamento da vestimenta devem procurar a referência ao termo (ver referência bibliográfica [5]).

O isolamento proveniente da roupa pode ser determinado por diversos meios como as medições com manequins térmicos, se dados precisos forem encontrados em outras fontes podem ser considerados aceitáveis para o uso. Quando esta informação não está disponível, é permitido utilizar os valores das tabelas deste Anexo para estimar o isolamento da vestimenta, valendo-se de um dos seguintes métodos. Independentemente da fonte do valor do isolamento da roupa, esta Parte da ABNT NBR 16401 não pode ser utilizada para conjuntos de roupa com isolamento superior a 1,5 clo. Esta Parte da ABNT NBR 16401 não pode ser utilizada com roupas altamente impermeáveis à passagem da umidade, como 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 acuidade 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 descritos na Tabela B.1, 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 B1, o isolamento resultante do conjunto é: I_{cl}= 1,01 + 0,15 = 1,16 clo.

— **Método 3**

  Determinar 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.

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, conforme Equação (B.1):

$$I_{cl} = 0{,}30 + 0{,}34 + 0{,}08 + 0{,}04 + 0{,}10 + 0{,}03 = 0{,}89 \text{ clo} \quad \text{(B.1)}$$

Projeto em Consulta Nacional

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 três métodos apresentados anteriormente.

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 a uma mudança mínima no isolamento da vestimenta. Por esta razão, não é recomendado ajuste algum no clo, quando existir alguma incerteza relacionada 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 por meio 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 e levantar), e da natureza da roupa (uma roupa confortável e mais maleável ao corpo e 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 realizadas para as condições em questão, por exemplo, com um manequim se movimentando. Uma estimativa para o isolamento da vestimenta de uma pessoa se movimentando pode ser realizada por meio da Equação (B.2):

$$I_{\mathrm{cl,\ ativo}} = I_{\mathrm{cl}} \times (0{,}6 + 0{,}4/M) \qquad 1{,}2\,\mathrm{met} < M < 2{,}0\,\mathrm{met} \tag{B.2}$$

onde

M é a taxa metabólica, expressa 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 estiver 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 nas quais uma pessoa esteja 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 ABNT NBR 16401.

A variabilidade das roupas entre os ocupantes em um mesmo espaço é uma consideração importante na aplicação desta Parte da ABNT NBR 16401.

Esta variabilidade assume duas formas: na primeira forma, indivíduos diferentes utilizam vestimentas diferentes, independentemente das condições térmicas, incluindo, por exemplo, as preferências pessoais entre homens e mulheres, escritórios nos quais 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 em 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

Projeto em Consulta Nacional

ABNT NBR 16401. Nesta situação, não é aceitável determinar 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 às suas preferências térmicas, é aceitável a reprodução de um único valor médio que represente o isolamento da vestimenta de todo o grupo.

Para atividades quase sedentárias nas quais 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 (continua)

Valores para conjuntos de roupas típicos [a]		
Descrição da vestimenta	**Roupas inclusas** [b]	**I_{cl} (clo)**
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 ou vestidos	Saia na altura dos joelhos + camisa com manga curta (sandálias)	0,54
	Saia na altura dos joelhos + camisa com manga longa + combinação íntima	0,67
	Saia na altura dos joelhos + camisa com manga comprida + meia combinação íntima + suéter com manga comprida	1,10
	Saia na altura dos joelhos + camisa com manga longa + meia combinação íntima + paletó	1,04
	Saia no comprimento do tornozelo + camisa com manga comprida + paletó	1,10
Shorts	*Shorts* + camisa com manga curta	0,36
Macacões	Macacão manga comprida + camiseta	0,72
	Macacão + camisa com manga comprida + camiseta	0,89
	Macacão isotérmico + roupa íntima comprida (térmico–corpo todo)	1,37
Atlética	Calça de moletom + blusa de moletom com manga longa	0,74
Pijamas	Camisa com manga longa de pijama + calça de pijama + roupão ¾ (chinelos, sem meias)	0,96

[a] Dados provenientes da referência bibliográfica [5].

[b] Todos os conjuntos de roupa, exceto quando indicado entre parênteses, incluem sapatos, meias, calcinhas ou cuecas. Todos os conjuntos de saias ou vestidos incluem meia-calça, sem meias adicionais.

Projeto em Consulta Nacional

Tabela B.2 – Isolamento das peças individuais de roupas [a] (continua)

Descrição da roupa [a]	I_{clu} (clo)	**Descrição da roupa [a]**	I_{clu} (clo)
Roupas íntimas		**Vestidos e saias** [b, c]	
Sutiã	0,01	Saia (fina)	0,14
Calcinha	0,03	Saia (grossa)	0,23
Cueca	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 (ceroula)	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	**Suéteres**[b]	
Calçados		Suéter sem mangas (fino)	0,13
Meia soquete	0,02	Suéter sem mangas (grosso)	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	**Paletós e coletes** [b, d]	
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
Camisas e blusas		Paletó fechado (fino)	0,42
Blusa sem mangas	0,12	Paletó fechado (grosso)	0,48
Camisa com manga curta esportiva (estilo polo)	0,17	**Pijamas e robes**	
Camisa social com manga curta	0,19	Camisola curta, sem mangas (fino)	0,18
Camisa social com manga longa	0,25	Camisola comprida, sem mangas (fino)	0,20
Camisa de flanela com manga longa	0,34	Vestido de hospital, com manga curta	0,31
Moletom com manga longa	0,34	Roupão de verão curto (fino)	0,34
Calças e macacões[b]		Pijama com manga curta (fino)	0,42
Short curto	0,06	Camisola de inverno comprida (grosso)	0,46
Short comprido	0,08	Robe de verão, com manga longa	0,48
Calça (fina)	0,15	Pijama com manga comprida (grosso)	0,57
Calça (grossa)	0,24	Robe de inverno, com manga comprida	0,69

Projeto em Consulta Nacional

Tabela B.2 (conclusão)

Descrição da roupa [a]	I_{clu} (clo)	**Descrição da roupa** [a]	I_{clu} (clo)
Roupas íntimas		**Vestidos e saias** [b, c]	
Calça de moletom	0,28		
Macacão (jardineira)	0,30		
Macacão (fechado)	0,49		

[a] Dados provenientes da referência bibliográfica [5].
[b] "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, utilizadas normalmente durante o inverno.
[c] Saias no comprimento do joelho.
[d] Coletes forrados.

Tabela B.3 – Adição típica à vestimenta quando o usuário estiver sentado em uma cadeira

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

[a] Cadeira feita com cordas finas espaçadas que não oferecem isolamento térmico. Incluída nesta lista apenas para fins comparativos.
[b] Cadeira usada na maior parte dos estudos básicos de conforto térmico que deram origem ao índice.

Projeto em Consulta Nacional

Anexo C
(normativo)

Programa computacional para cálculo do PMV/PPD

O seguinte código é uma implementação do cálculo PMV-PPD a partir da utilização de linguagem em *Java Script*, e em unidades SI. Este cálculo não inclui o risco de desconforto devido aos fatores de desconforto térmico local. Os valores de entrada para a validação do código estão apresentados na Tabela C.1.

```
pmv = function(ta, tr, vel, rh, met, clo, wme) {
 // returns [pmv, ppd]
 // ta, air temperature (°C)
 // tr, mean radiant temperature (°C)
 // vel, relative air velocity (m/s)
 // rh, relative humidity (%) Used only this way to input humidity level
 // met, metabolic rate (met)
 // clo, clothing (clo)
 // wme, external work, normally around 0 (met)
 var pa, icl, m, w, mw, fcl, hcf, taa, tra, tcla, p1, p2, p3, p4,
 p5, xn, xf, eps, hcn, hc, tcl, hl1, hl2, hl3, hl4, hl5, hl6,
ts, pmv, ppd, n;
 pa = rh * 10 * exp(16.6536 – 4030.183 / (ta + 235));
icl = 0.155 * clo; //thermal insulation of the clothing in M2K/W
 m = met * 58.15; //metabolic rate in W/M2
 w = wme * 58.15; //external work in W/M2
 mw = m – w; //internal heat production in the human body
 if (icl<= 0.078) fcl = 1 + (1.29 * icl);
 else fcl = 1.05 + (0.645 * icl);
 //heat transf. coeff. by forced convection
hcf = 12.1 * sqrt(vel);
taa = ta + 273;
tra = tr + 273;
tcla = taa + (35.5 – ta) / (3.5 * icl + 0.1);
p1 = icl * fcl;
 p2 = p1 * 3.96;
 p3 = p1 * 100;
 p4 = p1 * taa;
 p5 = 308.7 – 0.028 * mw + p2 * pow(tra / 100, 4);
xn = tcla / 100;
xf = tcla / 50;
```

Projeto em Consulta Nacional

```
 eps = 0.00015;
 n = 0;
 while (abs(xn – xf) > eps) {
xf = (xf + xn) / 2;
hcn = 2.38 * pow(abs(100.0 * xf – taa), 0.25);
 if (hcf>hcn) hc = hcf;
 else hc = hcn;
xn = (p5 + p4 * hc – p2 * pow(xf, 4)) / (100 + p3 * hc);
 ++n;
 if (n > 150) {
alert('Max iterations exceeded');
return 1;
 }
 }
tcl = 100 * xn – 273;
 // heat loss diff. through skin
 hl1 = 3.05 * 0.001 * (5733 – (6.99 * mw) – pa);
 // heat loss by sweating
 if (mw > 58.15) hl2 = 0.42 * (mw – 58.15);
 else hl2 = 0;
 // latent respiration heat loss
 hl3 = 1.7 * 0.00001 * m * (5867 – pa);
 // dry respiration heat loss
 hl4 = 0.0014 * m * (34 – ta);
 // heat loss by radiation
 hl5 = 3.96 * fcl * (pow(xn, 4) – pow(tra / 100, 4));
 // heat loss by convection
 hl6 = fcl * hc * (tcl – ta);
ts = 0.303 * exp(–0.036 * m) + 0.028;
pmv = ts * (mw – hl1 – hl2 – hl3 – hl4 – hl5 – hl6);
ppd = 100.0 – 95.0 * exp(–0.03353 * pow(pmv, 4.0) – 0.2179 * pow(pmv, 2.0));
var r = {}
r.pmv = pmv;
r.ppd = ppd;
 return r
}
```

Projeto em Consulta Nacional

Tabela C.1 – Validação do cálculo para gerar conforto conforme as Figuras 1 e 2

Run	Temperatura do ar	Umidade relativa do ar	Temperatura média radiante	Velocidade do ar	met	clo	PMV [a]
#	°C	%	°C	m/s			
1	19,6	86	19,6	0,10	1,1	1	–0,47
2	23,9	66	23,9	0,10	1,1	1	0,48
3	25,7	15	25,7	0,10	1,1	1	0,53
4	21,2	20	21,2	0,10	1,1	1	–0,48
5	23,6	67	23,6	0,10	1,1	0,5	–0,47
6	26,8	56	26,8	0,10	1,1	0,5	0,52
7	27,9	13	27,9	0,10	1,1	0,5	0,50
8	24,7	16	24,7	0,10	1,1	0,5	–0,49

[a] Em todos os casos, o resultado de PMV corresponde a um PPD calculado de 10 %.

Projeto em Consulta Nacional

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 em 6.3 requer que a zona gráfica para altas velocidades do ar seja utilizada quando a velocidade média do ar em um espaço é superior a 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, conforme 6.3.3.

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 ser 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 devem ser 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) utilizar os valores de temperatura média do ar (t_a), temperatura radiante (t_r), umidade relativa (UR), valor clo e taxa metabólica;

b) determinar a velocidade média do ar (v_a);

c) observar o valor calculado do SET nos dados de saída;

d) reduzir a velocidade média do ar para 0,1 m/s;

e) reduzir 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 determinado 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;

Projeto em Consulta Nacional

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 seguinte procedimento:

— Considerar 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.

— Considerar v_{parado} igual a 0,1 m/s.

— Considerar as funções PMV e SET, calculadas a partir de seis parâmetros, denotadas com a abreviação PMV (., *) e SET (., *).

As variáveis de importância são listadas explicitamente, enquanto os parâmetros invariantes são denotados por "*".

As variáveis listadas explicitamente são a temperatura média do ar (t_a), a temperatura radiante média (t_r), a velocidade média do ar (v_a) e a umidade relativa do ar (UR).

Para determinar o CE, deve-se considerar que ele atende à seguinte condição:

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

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 bisseção ou o método secante pode ser empregado. A raiz da função parametrizada f(ce) é a CE:

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

Assim, o PMV ajustado é dado por:

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

D.3 Cálculo do índice SET

Algoritmo para o cálculo do índice SET de acordo com o Anexo G da ASHRAE 55:2017, e documentação para o modelo SET conforme referência bibliográfica [6] na sua forma original. Para a utilização do SET nesta Parte da ABNT NBR 16401, a função de autogeração 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));
}
```

Projeto em Consulta Nacional

```
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;
```

Projeto em Consulta Nacional

```
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;
```

Projeto em Consulta Nacional

```
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;
varW = PWET;
var PSSK = FindSaturatedVaporPressureTorr(TempSkin);
```

Projeto em Consulta Nacional

```
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;
}
```

Projeto em Consulta Nacional

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

Temperatura do ar °C	Temperatura média radiante °C	Velocidade do ar °C	Umidade relativa do ar %	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

Projeto em Consulta Nacional

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 Radiant Field*), uma medida do fluxo de energia radiante líquida para/do corpo humano, conforme referência bibliográfica [5]. O ERF é expresso em Watts por metro quadrado (W/m^2), onde a "área" se refere 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 Equação (E.1):

$$ERF = f_{\mathrm{eff}} \cdot h_{\mathrm{r}} \cdot \left(\overline{t_{\mathrm{rlw}}} - t_{\mathrm{a}}\right) \tag{E.1}$$

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, expresso em watts por metro quadrado por Kelvin. (W/m^2.K);

T_{a} é a temperatura do ar, expressa em graus Celsius (°C).

O fluxo de energia realmente absorvido pelo corpo é ERF vezes a absorção de onda longa (α_{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 (E.2):

$$\alpha_{\mathrm{LW}} \cdot ERF_{\mathrm{solar}} = \alpha_{\mathrm{SW}} \cdot E_{\mathrm{solar}} \tag{E.2}$$

onde

ERF_{solar} é o fluxo de radiação solar por onda curta na superfície do corpo, expresso em watts por metro quadrado (W/m^2);

α_{SW} é a absortividade de onda curta;

E_{solar} é a soma dos três fluxos que foram filtrados pelas propriedades de fenestração e geometria e que estão distribuídos na superfície do corpo: energia solar difusa proveniente da abóboda celeste

(E_{diff}) é a energia solar refletida para acima do chão (E_{refl}) e a energia solar de raio direto proveniente do sol (E_{dir}).

Projeto em Consulta Nacional

Estes fluxos são determinados de acordo com as Equações (E.3), (E.4) e (E.5).

$$E_{diff} = 0,5 \cdot f_{eff} \cdot f_{svv} \cdot T_{sol} \cdot I_{diff} \quad (E.3)$$

onde

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

I_{diff} é irradiância difusa recebida em uma superfície horizontal voltada para cima, expressa em watts por metro quadrado (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 pela 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 a I_{diff} que estas bloquearam. A irradiância total ao ar livre na horizontal é filtrada por T_{sol} e f_{svv} e multiplicada pela refletância do piso e mobiliários baixos (R_{floor}).

$$E_{refl} = 0,5.f_{eff}.f_{svv}.T_{sol}.I_{TH}.R_{floor} \quad (E.4)$$

onde

I_{TH} é a irradiância horizontal total direta e difusa ao ar livre, expressa em watts por metro quadrado (W/m^2); o valor de R_{floor} (refletância do chão) é fixo em 0,6.

A radiação direta é incidente apenas na fração projetada do corpo (f_p), que depende da altura solar β, 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 do f_p estão tabulados no programa de computador em E.3.

A radiação solar direta também é reduzida por qualquer sombreamento do corpo fornecido pelo ambiente interno, quantificado pela fração de exposição corporal (ver Figura E.2).

$$E_{dir} = f_p \cdot f_{eff} \cdot f_{bes} \cdot T_{sol} \cdot I_{dir} \quad (E.5)$$

onde

I_{dir} é a irradiância solar proveniente dos raios diretos (normal), expressa em watts por metro quadrado (W/m^2).

Os parâmetros meteorológicos de radiação estão relacionados da seguinte forma:

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

Dado que I_{diff} é aproximadamente = $0,2.I_{dir}$;

O ERF_{solar} é, portanto, calculado a partir da Equação (E.6).

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

Para obter o ERF_{solar} a partir da Equação (E.6), e os valores fixos predeterminados acima, as entradas necessárias são f_{svv}, I_{dir}, f_{bes}, T_{sol}, α_{SW}, β, postura do ocupante e o ângulo horizontal do sol em relação à pessoa (SHARP). Estes são descritos em E.2.

O ERF_{solar} deve ser convertido em temperatura radiante média de onda curta utilizando a Equação (E.1).

Projeto em Consulta Nacional

E.2 Procedimentos de cálculo

O cálculo requer oito valores de entrada, conforme listado na Tabela E.2 e de acordo com:

a) **Absortividade de onda curta** (α_{SW})

A absortividade de ondas curtas do ocupante varia amplamente, dependendo da cor da pele do ocupante, bem como da cor e da 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 absortividade 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})

Esta fração varia entre 0 e 1, como apresentado na Tabela E.3, e é calculada a partir da Equação (E.7) para janelas de um lado. Este valor depende das dimensões da janela (largura – w; e altura – h) e da distância “d” entre o ocupante e a janela (ver Figura E.1).

$$f_{svv} = \frac{\tan^{-1}\left(\frac{h}{2d}\right).\tan^{-1}\left(\frac{w}{2d}\right)}{90\ 180} \qquad \text{(E.7)}$$

onde a função *arc tan* 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 abóbada celeste não podem 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} (na alínea a)) e multiplicada pelo fator de abertura do tecido de sombreamento;

— 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 *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.

Projeto em Consulta Nacional

d) **Irradiância solar direta normal** (I_{dir})

Os dados de radiação solar direta para uma atmosfera-padrão sem nuvens são apresentados na Tabela E.4.

NOTA Em E.2-d), o I_{dir} é baseado em elevação acima do nível do mar até 900 m. Acima de 900 m, é necessário aumentar esse valor em 12 %; acima de 1 200 m, em 15 %; acima de 1 500 m, em 18 %; e acima de 1 800 m, em 21 %.

e) **Fração do corpo exposto à radiação solar direta** (f_{bes})

A 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 E.2).

f) **Altura solar** (β)

A altura solar varia de 0º (horizonte) a 90º (zênite). Também chamada de “elevação solar” (ver Figura E.3).

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 º a 180 º e é simétrico em ambos os lados. Zero (0) graus representa a irradiância solar direta na posição frontal, 90º representa a irradiância solar direta na lateral e 180 º representam a irradiância solar direta na posição 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 E.3).

h) **Postura**

Os dados de entrada referente à postura dos ocupantes podem ser “sentados” ou “em pé”.

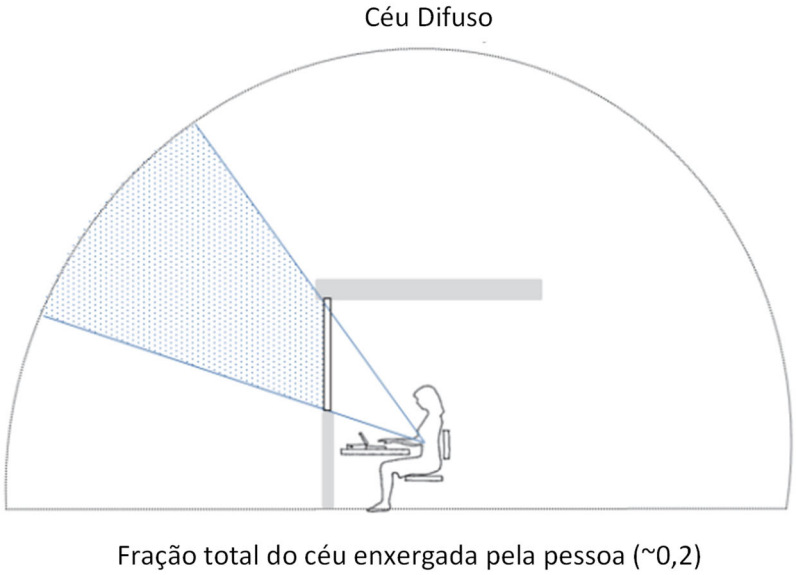


Figura E.1 – Fração da abóboda celeste em função do ângulo de visão do ocupante (f_{svv})

Projeto em Consulta Nacional

Tabela E.1 – Símbolos e unidades

Símbolo	Descrição	Unidade
ERF	campo radiante efetivo	W/m^2
f_{eff}	fração da superfície do corpo exposta à radiação	–
h_r	coeficiente de transferência de calor por radiação	$W/m^2.K$
t_a	temperatura do ar	°C
α_{LW}	absortividade de onda longa	–
α_{SW}	absortividade de onda curta	–
ERF_{solar}	fluxo de radiação solar por onda curta na superfície do corpo	W/m^2
E_{solar}	fluxo solar radiante de onda curta total	W/m^2
E_{dir}	componente de feixe direto do fluxo radiante solar de onda curta	W/m^2
E_{diff}	energia solar difusa proveniente da abóboda celeste	W/m^2
E_{refl}	energia solar refletida para cima do chão	W/m^2
f_{svv}	fração da abóboda celeste na visão do ocupante	–
T_{sol}	transmitância solar total	–
I_{dir}	irradiância solar direta normal	W/m^2
I_{diff}	irradiância difusa recebida em uma superfície horizontal voltada para cima	W/m^2
I_{TH}	irradiância horizontal total direta e difusa ao ar livre (intensidade solar horizontal total)	W/m^2
f_p	fator de área projetada	–
f_{bes}	fração da superfície corporal exposta ao sol	–
β	ângulo da altura solar	graus
SHARP	ângulo horizontal solar em relação à frente da pessoa	graus
R_{floor}	refletância do piso (fixo em 0,6)	–
	postura (sentado ou em pé)	–

Projeto em Consulta Nacional

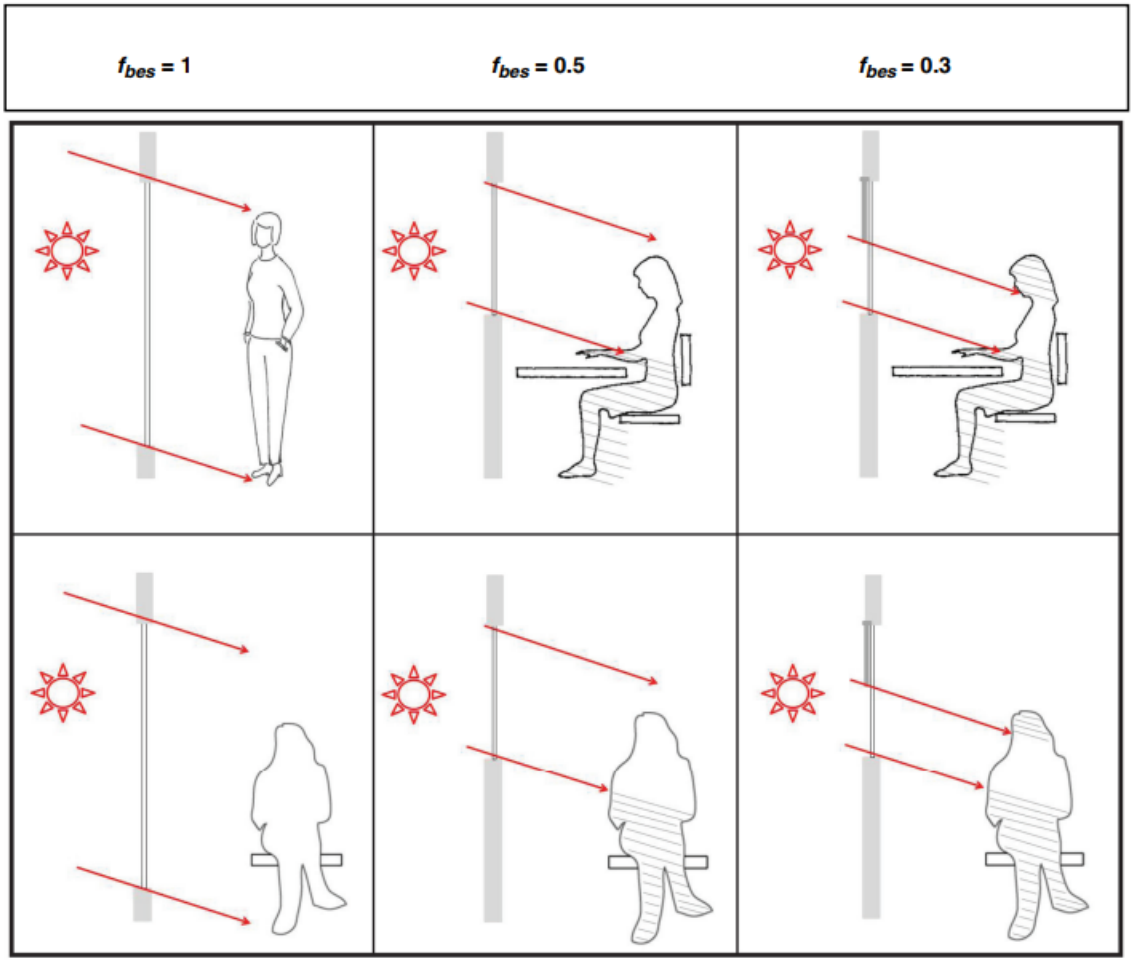


Figura E.2 – Fração do corpo exposto ao sol (f_{bes}) não incluindo o autossombreamento do corpo

NOTA 1 É aceitável simplificar o f_{bes} para igualar a fração da distância entre a cabeça e os pés expostos ao sol diretamente.

NOTA 2 O maior valor possível é 1,0 para o f_{bes}, já que o autossombreamento do corpo não está incluído no f_{bes}.

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

Símbolo	Descrição	Unidade	*Default* permitido	Intervalo permitido
α_{SW}	absortividade de onda curta	–	0,7	0,2 a 0,9
f_{svv}	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}	irradiância solar direta normal	W/m^2	900	200 a 1 000
f_{bes}	fração da superfície corporal exposta ao sol	–	N/A	0 a 1

Projeto em Consulta Nacional

Tabela E.2 (conclusão)

Símbolo	Descrição	Unidade	*Default* permitido	Intervalo permitido
β	ângulo de altitude da altura 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

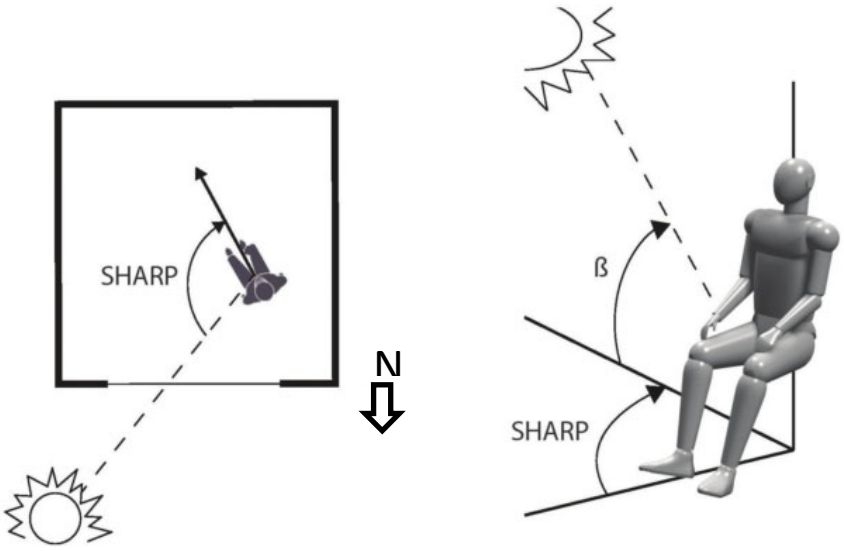


Figura E.3 – Ângulo horizontal solar em relação à frente da pessoa (SHARP) e à altura solar β

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
Distância 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 %

Projeto em Consulta Nacional

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

ângulo da altura solar (β), em graus	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90
irradiância solar direta normal (I_{dir}), em W/m^2	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],
```

Projeto em Consulta Nacional

```
 [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]
```

Projeto em Consulta Nacional

```
// 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 = 0.2 * Idir;

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 seated)");
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 para a validação do modelo (continua)

Alt	SHARP	Postura	I_{dir}	T_{sol}	f_{svv}	f_{bes}	asa	ERF	t_{rsw}
0	120	Sentado	800	0,5	0,5	0,5	0,7	42,9	10,3
60	120	Sentado	800	0,5	0,5	0,5	0,7	63,7	15,3
90	120	Sentado	800	0,5	0,5	0,5	0,7	64,9	15,5
30	0	Sentado	800	0,5	0,5	0,5	0,7	62,7	15,0
30	30	Sentado	800	0,5	0,5	0,5	0,7	62,7	15,0
30	60	Sentado	800	0,5	0,5	0,5	0,7	59,8	14,3
30	90	Sentado	800	0,5	0,5	0,5	0,7	56,8	13,6
30	150	Sentado	800	0,5	0,5	0,5	0,7	52,4	12,6

Projeto em Consulta Nacional

Tabela E.5 (conclusão)

Alt	SHARP	Postura	I_{dir}	T_{sol}	f_{svv}	f_{bes}	asa	ERF	t_{rsw}
30	180	Sentado	800	0,5	0,5	0,5	0,7	49,5	11,8
30	120	Em pé	800	0,5	0,5	0,5	0,7	59,6	13,7
30	120	Sentado	400	0,5	0,5	0,5	0,7	27,7	6,6
30	120	Sentado	600	0,5	0,5	0,5	0,7	41,5	9,9
30	120	Sentado	1000	0,5	0,5	0,5	0,7	69,2	16,6
30	120	Sentado	800	0,5	0,5	0,5	0,7	11,1	2,7
30	120	Sentado	800	0,1	0,5	0,5	0,7	33,2	8,0
30	120	Sentado	800	0,3	0,5	0,5	0,7	77,5	18,6
30	120	Sentado	800	0,7	0,5	0,5	0,7	29,9	7,2
30	120	Sentado	800	0,5	0,1	0,5	0,7	42,7	10,2
30	120	Sentado	800	0,5	0,3	0,5	0,7	68,1	16,3
30	120	Sentado	800	0,5	0,7	0,5	0,7	36,5	8,7
30	120	Sentado	800	0,5	0,5	0,1	0,7	45,9	11,0
30	120	Sentado	800	0,5	0,5	0,3	0,7	64,8	15,5
30	120	Sentado	800	0,5	0,5	0,7	0,3	23,7	5,7
30	120	Sentado	800	0,5	0,5	0,5	0,5	39,6	9,5
30	120	Sentado	800	0,5	0,5	0,5	0,9	71,2	17,0
30	120	Sentado	800	0,5	0,5	0,5	0,7	55,4	13,3

Projeto em Consulta Nacional

Anexo F
(informativo)

Desconforto térmico localizado

F.1 Desconforto térmico

Evitar o desconforto térmico local de ocupantes, muitas vezes causado por uma diferença na temperatura no sentido vertical entre a cabeça e os pés, 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.

F.2 Zona de conforto térmico

Os requisitos especificados em 6.3 desta Parte da ABNT NBR 16401 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, consequentemente, o risco de desconforto térmico local é menor. No entanto, é aceitável utilizar os limites estabelecidos neste Anexo, 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 está mais quente que o neutro. Os requisitos deste Anexo estão baseados em temperaturas mais próximas ao centro da zona de conforto. Os requisitos se aplicam a toda a zona, mas são mais conservativos próximo aos limites superiores de temperatura da zona de conforto, podendo subestimar próximo aos 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 em 6.3.3. Todos os critérios de desconforto térmico local da Tabela F.1 devem ser atendidos simultaneamente para que o ambiente atenda a esta Parte da ABNT NBR 16401.

Tabela F.1 – Porcentagem-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.3 Assimetria da temperatura radiante

O campo radiante ao redor de uma pessoa pode ser assimétrico devido às superfícies frias ou quentes ou à 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

Projeto em Consulta Nacional

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.

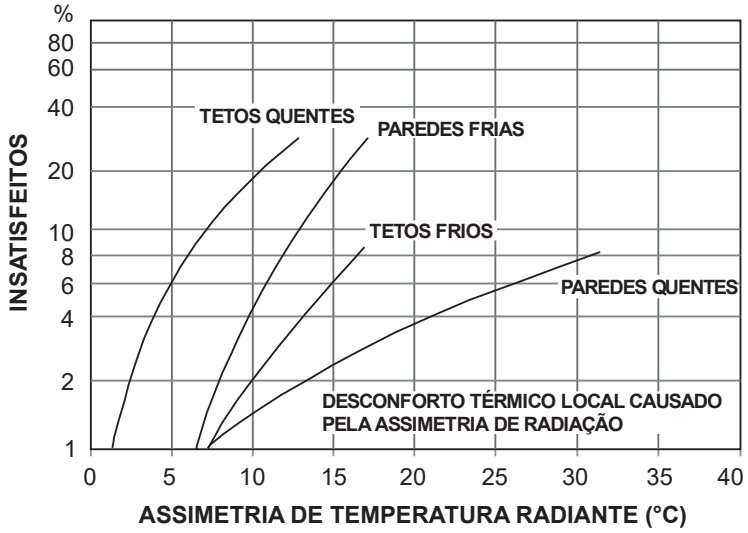


Figura F.1 – Desconforto térmico local causado pela assimetria na temperatura radiante

Tabela F.2 – Assimetria máxima permitida na temperatura radiante

Assimetria na temperatura radiante Δt_{pr} °C			
Teto quente	**Parede fria**	**Teto frio**	**Parede quente**
< 5	< 10	< 14	< 23

F.4 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 nas áreas em que a pele não está coberta pela vestimenta, especialmente a região da cabeça (cabeça, pescoço e ombros) e a região das pernas (tornozelos, pés e pernas).

Para temperaturas operativas abaixo de 22,5 °C, a velocidade máxima do ar para a zona de conforto não pode exceder 0,15 m/s em qualquer local do corpo. Este limite se aplica ao deslocamento do ar causado por janelas e sistema de condicionamento de ar. É aceitável que a velocidade do ar exceda estes limites, desde que os ocupantes tenham controle local, como estabelecido em 6.3.3.

Projeto em Consulta Nacional

As correntes de ar na região abaixo do joelho podem ocorrer em edifícios condicionados por sistemas de estratificação, com insuflamento pelo piso ou com fluxo de ar frio ao longo das paredes externas ou janelas.

A velocidade máxima do ar na altura do tornozelo é deduzida do PPD a partir do PPD_{VT}. Trata-se de um índice que estabelece uma previsão quantitativa do percentual de insatisfeitos termicamente a partir desta fonte de desconforto térmico local. O PPD_{VT} pode ser calculado a partir da Equação (F.1) ou deduzido a partir da Figura F.2.

$$PPD_{VT} = \frac{\exp(-2,58 + 3,05 \cdot v_{tornozelo} - 1,06 \cdot TS)}{1 + \exp(-2,58 + 3,05 \cdot v_{tornozelo} - 1,06 \cdot TS)} \qquad (v_{tornozelo} \text{ em m/s}) \qquad \text{(F.1)}$$

onde

PPD_{VT} é a quantidade de insatisfeitos devido ao desconforto térmico local causado pelas correntes de ar na altura do tornozelo, expressa em porcentagem (%);

$v_{tornozelo}$ é a velocidade do ar a 0,1 m de altura do piso, expressa em metros quadrados por segundo (m/s);

TS é a sensação térmica relativa ao corpo inteiro; este valor é equivalente ao PMV calculado utilizando como dados de entrada o valor médio da temperatura do ar e da velocidade do ar resultante de duas alturas: 0,6 m e 1,1 m para ocupantes sentados e 1,1 m e 1,7 m para ocupantes em pé.

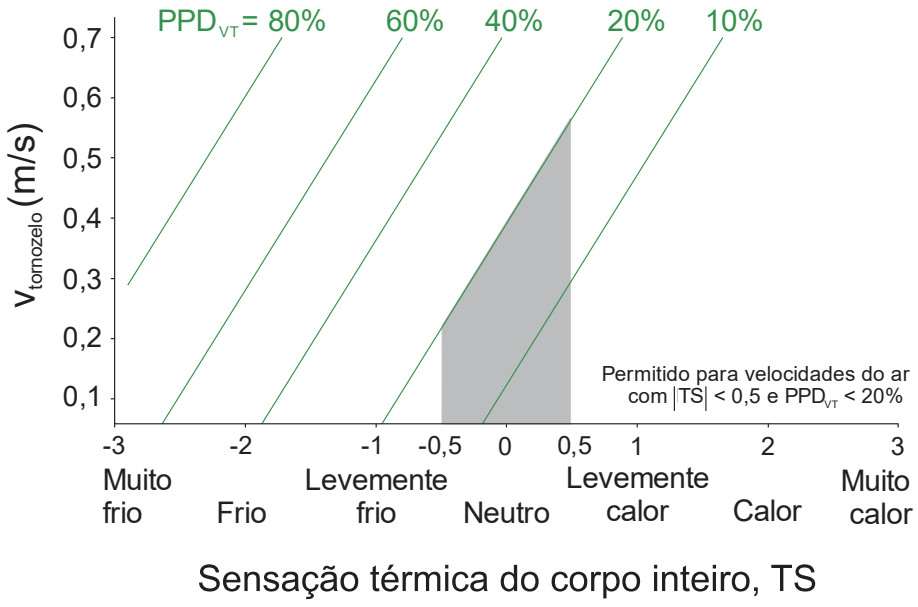


Figura F.2 – Limites de velocidade do ar a 0,1 m de altura do chão em função da sensação térmica do corpo inteiro e a porcentagem de insatisfeitos devido ao *PPD*$_{VT}$

Os limites de velocidade do ar a 0,1 m do chão determinados em 6.3.4.3 foram determinados com base em um PPD_{VT} de 20 %.

F.5 Gradiente vertical de temperatura

A estratificação térmica, que resulta de valores de temperatura mais alta no nível da cabeça do que nos tornozelos, pode causar desconforto térmico localizado. A Figura F.3 apresenta o percentual predito de insatisfeitos em função da diferença de temperatura do ar entre a cabeça e os tornozelos.

Projeto em Consulta Nacional

Temperaturas mais baixas ao nível da cabeça são raras e percebidas como favoráveis pelos usuários, mas não são utilizadas nesta Parte da ABNT NBR 16401.

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

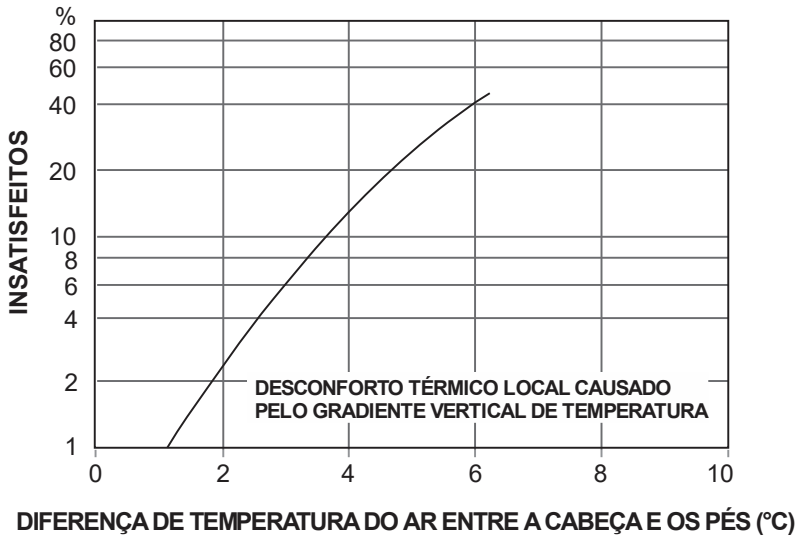


Figura F.3 – Desconforto térmico local causado pelo gradiente de temperatura vertical

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

Gradiente de temperatura vertical °C
< 3

F.6 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 estiverem utilizando calçados. A Figura F.4 apresenta a porcentagem de pessoas insatisfeitas em função da temperatura do piso.

O critério deste Anexo 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 é mais conservativo. Esta Parte da ABNT NBR 16401 não se aplica a pessoas descalças ou sentadas no piso.

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

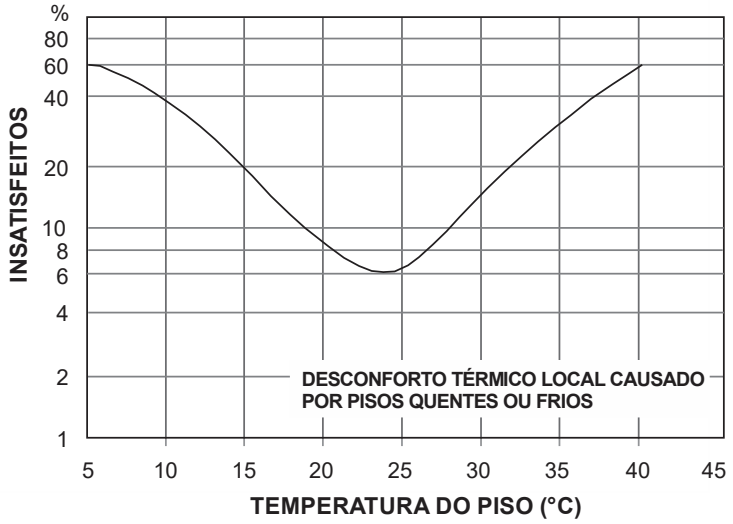


Figura F.4 – Desconforto térmico local causado por pisos quentes ou frios

Tabela F.4 – Faixa de temperaturas permitidas

Faixa de temperaturas permitidas no piso °C
19 a 29

Projeto em Consulta Nacional

Projeto em Consulta Nacional

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 ensaios confrontados com os limites de conforto.

a) No método baseado em votação média (PMV), ver 6.3.1, as variáveis ambientais são combinadas com a estimativa da vestimenta e nível de atividade. Desta forma, calcula-se o PMV, que representa 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, obtidos por meio de pesquisas em uma variedade de ambientes de ensaio em que a insatisfação foi assumida no intervalo de valores absolutos a partir de ± 2, ou maior. Com este método, um PMV de ± 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 a fim de 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 ± 0,5 deve ser de 20 %.

b) No modelo adaptativo voltado para os espaços naturalmente ventilados e controlados pelos ocupantes, 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 ABNT NBR 16401. 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 obter resultados mais realistas do que aqueles obtidos utilizando os modelos de conforto. No entanto, estas pesquisas não podem ser realizadas em todos os casos por demandarem tempo, planejamento prévio e abordagem de comunicação. Uma boa pesquisa de campo deve pesar a quantidade de tempo e a 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

Projeto em Consulta Nacional

a uma taxa de resposta adequada (≅ 75 %) ajuda a diminuir o risco de generalização quando o levantamento é realizado em uma edificação com diversas instalações. Embora nenhuma taxa de resposta seja especificada nesta Parte da ABNT NBR 16401, deve-se assegurar que as respostas venham de ocupantes representativos de toda a população de interesse.

Pesquisas de satisfação relacionadas 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, conforme a seguir. 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, 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 da referência bibliográfica [8]. “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 à 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 *on-line* e aplicativos.

2) As pesquisas de “satisfação” são utilizadas para avaliar as respostas dos ocupantes relacionadas ao espaço em geral dentro de um intervalo de tempo determinado. Em vez 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 neste Anexo, no qual 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

Projeto em Consulta Nacional

sistemas de climatização e envoltória. Desta maneira, os ocupantes fornecem informações "globais" ou "gerais" de voto relacionadas 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 podem 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 9-a) a 9-e) na Figura E.2).

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

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.3 Modelo de questionário para as pesquisas de conforto térmico instantâneas

Data:	Hora:
1. Registre os seguintes dados pessoais:	
Sexo: ☐ Feminino ☐ 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) NOTA Convém que esta escala seja utilizada para que o padrão desta Parte da ABNT NBR 16401 seja mantido.	
☐ Com muito calor	
☐ Com calor	
☐ Levemente com calor	
☐ Neutro	
☐ Levemente com frio	
☐ Com frio	
☐ Com muito frio	

Projeto em Consulta Nacional

4. Você preferiria estar:

☐ Mais quente	☐ Não mudar	☐ Mais frio

5. Para você, este ambiente térmico é:

☐ Aceitável	☐ Inaceitável

6. Como você se sente em relação ao movimento do ar neste momento? (Assinale apenas uma alternativa, considerando a aceitabilidade ou não da velocidade do ar)

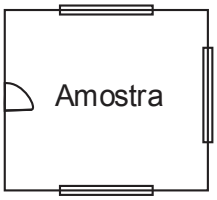
Inaceitável	☐ Pouco movimento do ar
	☐ Muito movimento do ar
Aceitável	☐ Pouco movimento do ar
	☐ Movimento do ar suficiente
	☐ Muito movimento do ar

7. Considerando sua resposta anterior, qual a sua preferência em relação ao movimento do ar neste momento?

☐ Maior movimento do ar	☐ Não mudar	☐ Menor movimento do ar

8. Marque com um X:

(a) o local mais apropriado onde você passa a maior parte do seu tempo:



NOTA Convém que seja 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:

☐ Norte	☐ Sul	☐ Leste	☐ Oeste	☐ Central	☐ Não sei

Projeto em Consulta Nacional

9. Em qual andar da edificação seu local de trabalho está localizado?			
☐ 1° andar	☐ 2° andar	☐ 3° andar	☐ Outro. Especifique:

10. Você está próximo(a) de uma parede externa? (aproximadamente 3 m).	
☐ Sim	☐ Não

11. Você está próximo(a) de uma janela com abertura externa? (aproximadamente 3 m).	
☐ Sim	☐ Não

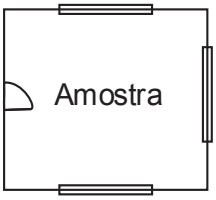
12. Utilizando a seguinte relação, assinale cada item de roupa que você está usando agora: NOTA Esta lista pode ser ajustada de acordo com a necessidade.		
☐ Camisa com manga curta	☐ Vestido social	☐ Macacão
☐ Camisa com manga longa	☐ Saia curta (altura do joelho)	☐ Calcinha + Sutiã
☐ Camiseta/Camisa tipo polo	☐ Saia longa (altura da canela)	☐ Cueca
☐ Suéter com manga longa	☐ *Shorts*/Bermuda	☐ Meias de náilon
☐ Suéter com manga curta	☐ Calça *jeans*	☐ Meias esportivas
☐ Jaqueta/paletó fino	☐ Calça social	☐ Botas
☐ Jaqueta/paletó grosso	☐ Calça moletom	☐ Tênis/sapato
☐ Colete	☐ Blusa moletom	☐ Sandálias
Outros. Especifique:		

13. Qual o seu nível de atividade neste momento? (assinale a opção mais apropriada)
☐ Sentado, atividade leve (relaxado, lendo)
☐ Sentado, atividade moderada (digitando, arquivando)
☐ Em pé, relaxado
☐ Atividade leve em pé
☐ Atividade moderada em pé
☐ Atividade pesada
☐ Outra. Especifique:

Projeto em Consulta Nacional

14. Dentre as seguintes opções, quais estão disponíveis para o ajuste/controle individual da temperatura neste momento? NOTA Esta lista pode ser ajustada de acordo com a necessidade.		
☐ Cortinas ou persianas	☐ Condicionador de ar	☐ Aquecedor portátil
☐ Porta para interior	☐ Porta para exterior	☐ Ventilador de teto
☐ Ventilador portátil	☐ Janelas operáveis	☐ Termostato
☐ Saída de ar ajustável (chão, parede ou teto)		☐ Nenhuma das opções
☐ Outras. Especifique:		

G.4 Modelo de questionário para pesquisas de satisfação relacionadas ao ambiente térmico

Data:	Hora:
1. Registre os seguintes dados pessoais:	
Sexo: ☐ Feminino ☐ 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 Convém que seja 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:					
☐ Norte	☐ Sul	☐ Leste	☐ Oeste	☐ Central	☐ Não sei

4. Em qual andar da edificação seu local de trabalho está localizado?			
☐ 1° Andar	☐ 2° Andar	☐ 3 ° Andar	☐ Outro. Especifique:

Projeto em Consulta Nacional

5. Você está próximo(a) de uma parede externa? (aproximadamente 3 m).	
☐ Sim	☐ Não
6. Você está próximo(a) de uma janela com abertura externa? (aproximadamente 3 m).	
☐ Sim	☐ Não

7. Dentre as seguintes opções, quais estão disponíveis para o ajuste/controle pessoal da temperatura no seu local de trabalho? NOTA Esta lista pode ser ajustada de acordo com a necessidade.		
☐ Cortinas ou persianas	☐ Condicionador de ar	☐ Aquecedor portátil
☐ Porta para interior	☐ Porta para exterior	☐ Ventilador de teto
☐ Ventilador portátil	☐ Janelas operáveis	☐ Termostato
☐ Saída de ar ajustável (chão, parede ou teto)		☐ Nenhuma das opções
☐ Outras. Especifique:		
Por favor, responda as próximas perguntas com base na sua experiência neste local de trabalho, considerando os últimos meses (considerar os seis últimos meses ou o intervalo de tempo entre esta e a última pesquisa realizada). NOTA 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	☐☐☐☐☐☐☐	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:		
☐ Ocasionalmente fria	☐ Diversas vezes fria	☐ Sempre fria
☐ Ocasionalmente quente	☐ Diversas vezes quente	☐ Sempre quente

Projeto em Consulta Nacional

b) Durante os meses/estações mais frias, a temperatura no meu local de trabalho é:		
☐ Ocasionalmente muito fria	☐ Diversas vezes muito fria	☐ Sempre muito fria
☐ Ocasionalmente muito quente	☐ Diversas vezes muito quente	☐ Sempre muito quente

10. Em qual horário do dia este problema ocorre com maior frequência?		
☐ Pela manhã (antes das 11h)	☐ Meio-dia (entre 11 h e 14 h)	☐ Tarde (entre 14 h e 18 h)
☐ Noite (após às 18h)	☐ Fins de semana/ feriados	☐ O tempo todo
☐ Segunda-feira pela manhã	☐ Não existe hora certa	☐ Outra:

11. Qual(is) alternativa(s) melhor descreve(m) a fonte deste desconforto? Marque mais de uma opção, se necessário. NOTA Esta lista pode ser ajustada de acordo com a necessidade.	
☐ Umidade muito alta (úmido)	☐ Umidade muito baixa (seco)
☐ Muita ventilação (velocidade do ar)	☐ Pouca ventilação (velocidade do ar)
☐ Incidência de luz solar direta	☐ Calor proveniente de equipamentos
☐ Corrente de ar proveniente das janelas	☐ Corrente de ar proveniente de ventiladores
☐ Meu espaço é mais quente/frio que os outros	☐ Janela é inoperável
☐ Termostato ajustado por outra pessoa	☐ Termostato é inacessível
☐ Uniforme (roupa) não pode ser ajustado	☐ Sistema de climatização deficiente
☐ Outros. Especifique:	

12. Por favor, descreva qualquer outro problema em 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 California, em Berkeley.

Projeto em Consulta Nacional

G.5 Avaliação de conforto em espaços existentes

A abordagem de avaliação depende da aplicação pretendida. A lista de possíveis aplicações de avaliação é extensa. Estas requerem a avaliação em diferentes períodos de tempo – de curto (ST) a longo prazo (LT):

a) operação em tempo real de um prédio usando medições de conforto (ST);

b) avaliação do desempenho do sistema AVAC-R (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) validação do cumprimento dos requisitos de edifícios existentes com sistemas similares ao *leed* (ST, LT);

f) validação da 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 da satisfação por meio 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 em G.1 e G.2.

As pesquisas e medições físicas podem ser utilizadas em conjunto com os outros métodos para fins de diagnóstico de problemas (ver Tabela G.3). 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.

G.5.1 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 são baseadas 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) sensação térmica (quando calculada a média de uma população, estes votos correspondem diretamente aos votos de PMV, podendo ser comparados); iii) 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.

Projeto em Consulta Nacional

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

Tabela G.1 – Método de medição

		Natureza da aplicação	
		Curto prazo	**Longo prazo**
Método de medição	**Pesquisas com os ocupantes**	Pesquisas instantâneas e pontuais (devem ser aplicadas considerando populações e períodos do ano relevantes): ● O registro e a análise dos dados (votos de sensação térmica médios) levam a um percentual de conforto durante o período de pesquisa; ● A partir de valores coincidentes de temperatura podem ser realizadas extrapolações a uma gama maior de condições. *(Geralmente, utilizadas para pesquisas e diagnóstico de problemas).*	Pesquisa de satisfação dos ocupantes: ● 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); ● O período de interesse pode ser especificado pelos responsáveis pela solicitação da pesquisa/ estudo. *(Geralmente, utilizadas na gestão de edifícios, comissionamento, órgãos de classificação e setor imobiliário, e conformidade com sistemas de classificação de edifícios verdes)*
	Medições ambientais	Medições pontuais das variáveis utilizando sensores (móveis) programados por um período de tempo (deve ser selecionado um momento significativo para a medição): ● Utilizar as variáveis de determinação do PMV, conforme 6.3.1. ● Utilizar as variáveis de determinação de conformidade com o modelo adaptativo, ver 6.4. *(Geralmente, utilizadas para operação em tempo real, ensaiando e validando o desempenho do sistema).*	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): ● Avaliação a partir das horas de desconforto excedidas: soma de horas considerando o PMV ou os limites do modelo adaptativo. ● Os valores excedentes analisados por agrupamento podem ser ponderados pela gravidade. ● Instâncias de mudança excessiva de temperatura ou de desconforto térmico local podem ser contabilizadas. *(Geralmente utilizadas para avaliar o desempenho do sistema e operador ao longo do tempo)*

Projeto em Consulta Nacional

Anexo H
(informativo)

Modelo de documentação para avaliação de conformidade na etapa de projeto

H.1 Comum a todos os tipos de projeto, conforme a Tabela H.1

Tabela H.1 – 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 Completar esta seção se o projeto utilizar o método relativo a 6.3.2 desta Parte da ABNT NBR 16401 (PMV/PPD) e conforme as Tabelas H.2 e H.3

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: _____

Projeto em Consulta Nacional

Tabela H.2 – 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.3 – 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 anteriormente resultam em Votos Médios Estimados (PMV) dentro do intervalo de ± 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, considerar:

   a) verificar se a velocidade média do ar atende aos parâmetros especificados pelos limites da Figura 4, 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 4, quando os ocupantes detêm o controle da velocidade do ar, e se estes são separados a cada 84 m^2 ou um controle a cada seis ocupantes.

6) Efeitos de desconforto térmico localizado.

   Verificar se os efeitos de desconforto localizado foram considerados e se não são suscetíveis a exceder os limites descritos em 6.3.3. Quando os efeitos de desconforto térmico localizado forem suscetíveis de ocorrência, verificar se os cálculos foram realizados de modo a incluir os valores previstos dentro do intervalo permitido conforme 6.3.3.

Projeto em Consulta Nacional

Tabela H.4 – 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 Completar esta Seção se o projeto utilizar o método relativo a 6.4

O modelo adaptativo para ambientes naturalmente ventilados e controlados pelos ocupantes devem atender as seguintes orientações:

1) Verificar se cada espaço condicionado naturalmente controlado pelo ocupante atende a todos os critérios especificados em 6.4;

   a) os espaços possuem janelas operáveis com abertura para o exterior, prontamente ajustáveis pelos ocupantes;

   b) não existe algum 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 met 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 clo a 1,0 clo;

   e) a temperatura média predominante do ar externo é superior a 10 °C e inferior a 33,5 °C.

   f) arquivo climático utilizado para o cálculo da temperatura média mensal;

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

   h) Verificar se a temperatura operativa estimada atende ao limite de 80 % de aceitabilidade da Figura 7, 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] ISO 9050, *Glass in building – Determination of light transmittance, solar direct transmittance, total solar energy transmittance, ultraviolet transmittance and related glazing factors*

[2] ANSI/NFRC 200:2020, *Procedure for determining fenestration product solar heat gain coefficient and visible transmittance at normal incidence.*

[3] ASHRAE *fundamentals*

[4] *Software da ASHRAE Thermal Comfort Tools*

[5] *ASHRAE 2009, Handbook – Fundamentals. Chapter 9 – Thermal comfort;*

[6] *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.*

[7] ASHRAE RP-884 *Adaptive model project – Data downloader*

Projeto em Consulta Nacional