

Clima e Conforto térmico

Profa Alessandra Shimomura, Profa. Dra. Denise Duarte, Prof. Prof. Dr. Leonardo Monteiro, Profa. Dra. Ranny Michalski

CONFORTO

quanto maior for o esforço de adaptação
maior será a sensação de desconforto



CONFORTO TÉRMICO

- Variáveis envolvidas na transferência de calor
- Variáveis do clima exterior
- Variáveis do conforto humano

Mecanismos de troca de calor

- Trocas térmicas sensíveis: envolvem diferença de temperatura
 - Convecção
 - Radiação
 - Condução
- Trocas térmicas latentes: envolvem mudança de estado
 - Evaporação
 - Condensação

Variáveis do clima exterior

1. Temperatura (K, °F, °C, °R)

- do ar
- superficial

2. Umidade

- relativa (%)
- específica (g de vapor d'água/kg de ar seco)

3. Radiação solar

- direta e difusa (W/m^2)
- insolação (h)

4. Vento

- direção (graus)
- velocidade (m/s, Km/h, nós)

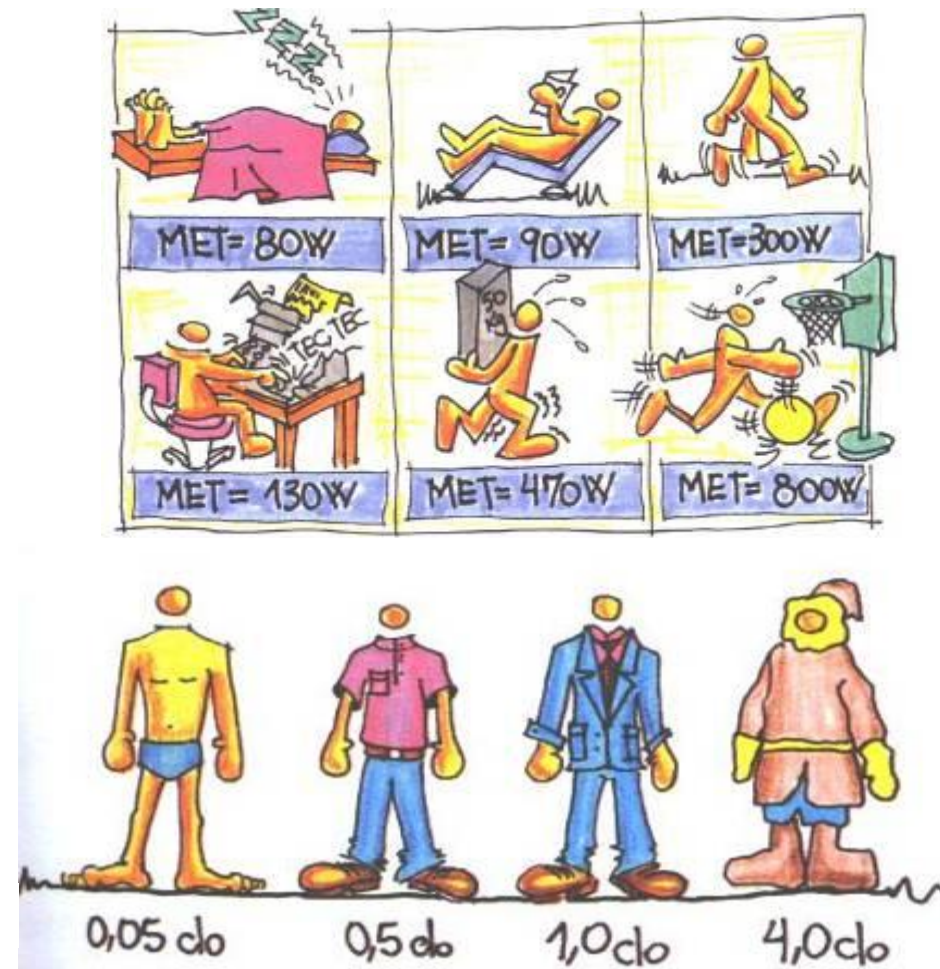
Variáveis do conforto humano

1. Metabolismo (MET)

2. Vestimenta (CLO)

3. Parâmetros que descrevem termicamente o ambiente

- Temperatura do ar
- Temperatura radiante média
- Velocidade do ar
- Umidade do ar



Fonte: LAMBERTS. Roberto, et al. *Eficiência Energética na Arquitetura*. São Paulo

BALANÇO TÉRMICO

$$M = + CV + R + EV$$

M – metabolismo

CV – trocas por convecção

R – trocas por radiação

EV – trocas evaporativas

TROCAS TÉRMICAS

CV – trocas por convecção

- temperatura do ar
- velocidade do ar

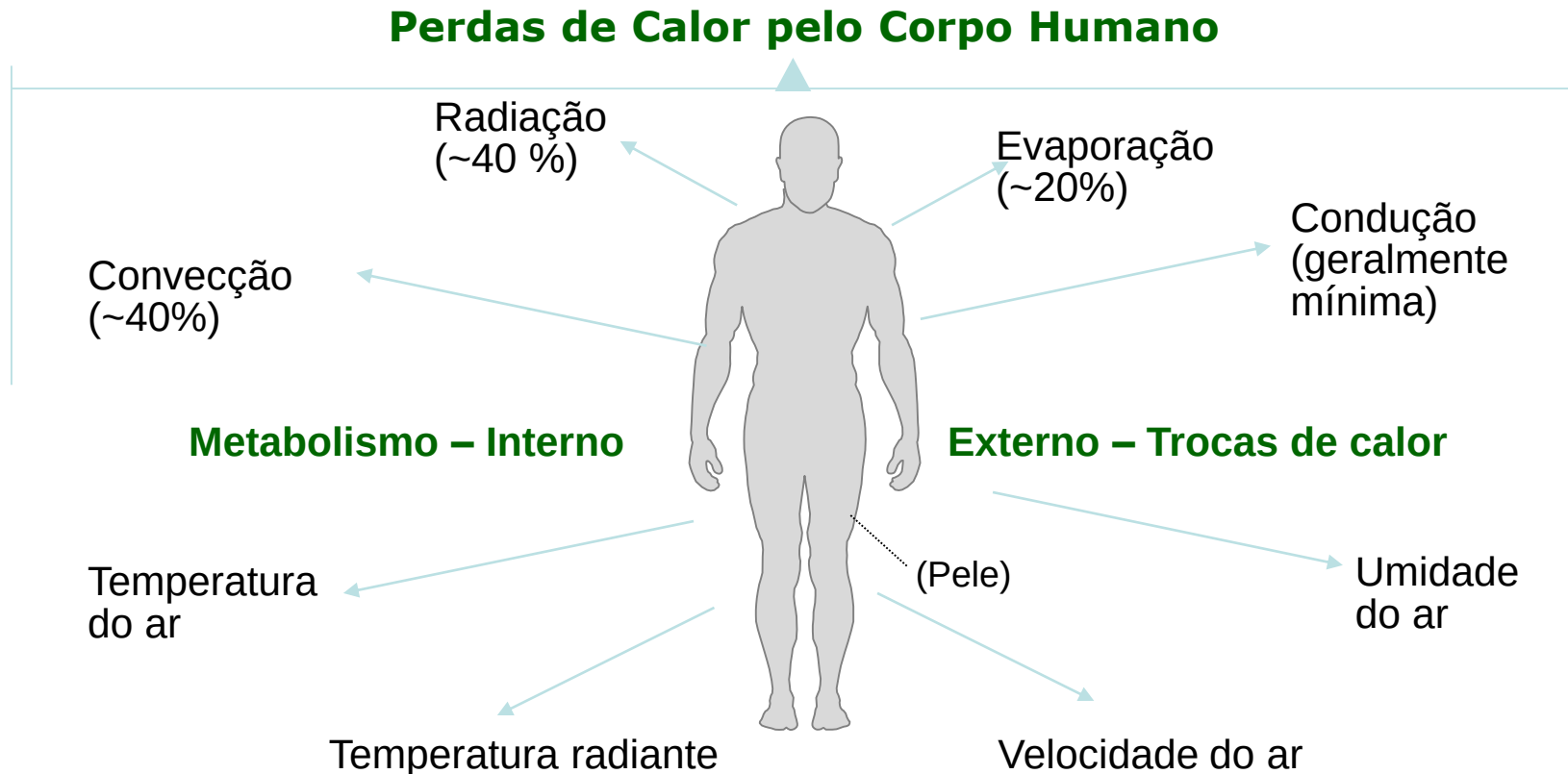
R – trocas por radiação

- temperatura radiante

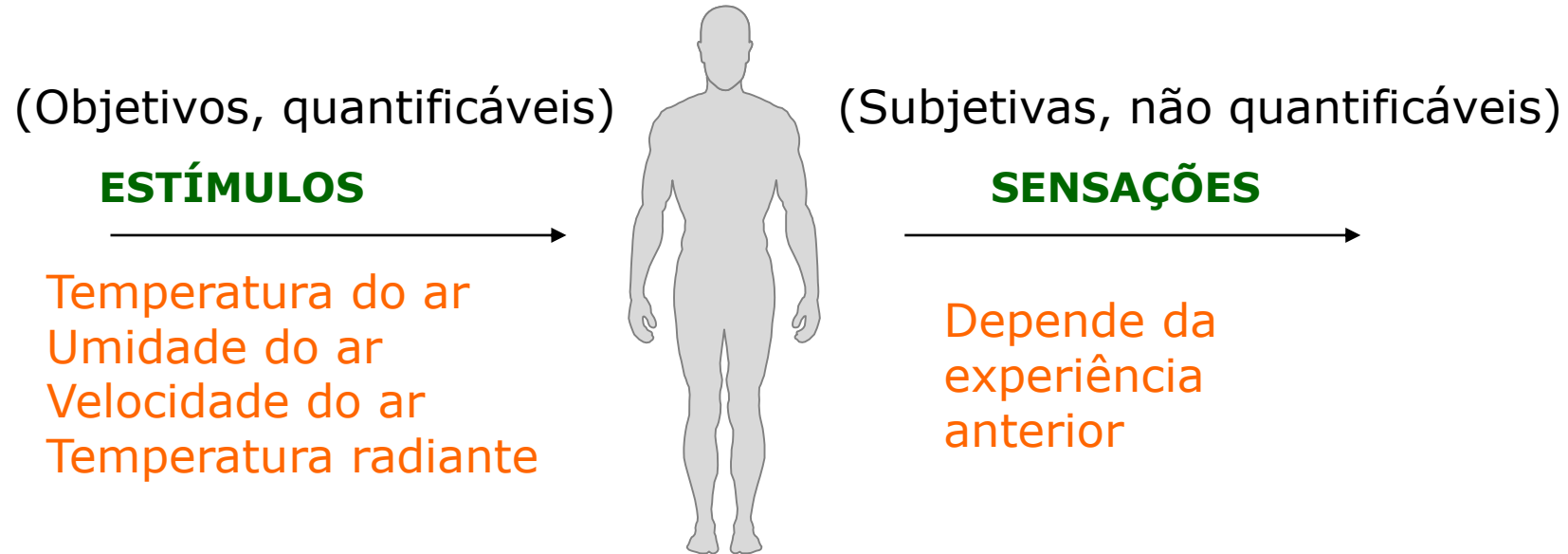
EV – trocas evaporativas

- temperatura do ar
- umidade do ar
- velocidade do ar

Adaptação do corpo humano ao meio



ESTÍMULOS E SENSações



O grau de perturbação ou conforto depende de estímulos e sensações

O estímulo é objetivo | A sensação é subjetiva



ADAPTAÇÃO FISIOLÓGICA - “ACLIMATAÇÃO”

Respostas biológicas que resultam de prolongada exposição as condições térmicas características e relativamente extremas.



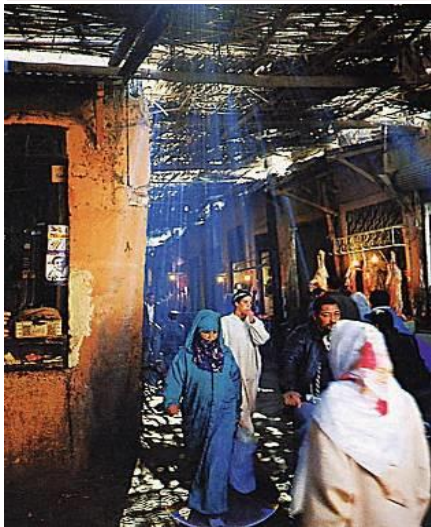
ADAPTAÇÃO PSICOLÓGICA

Diz respeito a uma percepção alterada das condições físicas devido a experiências passadas e expectativas



ADAPTAÇÃO SÓCIO-CULTURAL

Aceitação do ambiente por questões sociais e hábitos culturais



ADAPTAÇÃO COMPORTAMENTAL

Ação consciente ou inconsciente que uma pessoa poderia fazer para alterar o seu equilíbrio térmico corporal. Mudança de vestuário, acionamento de ventiladores, etc.

Índices de conforto

Índices de Conforto: tentam englobar em um único fator todas as variáveis.

Primeiros estudos: American Society of Heating and Ventilating Engineers - ASHVE (1916) - rendimento do operário na indústria

Índice de conforto de Fanger: International Organization for Standardization - ISO 7730 (2005); American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers - ASHRAE 55 (2004)

Modelos adaptativos: ASHRAE 55 (2004, 2010, 2013, 2017); British Standards/European Standards - BS EN 15251 (2007)

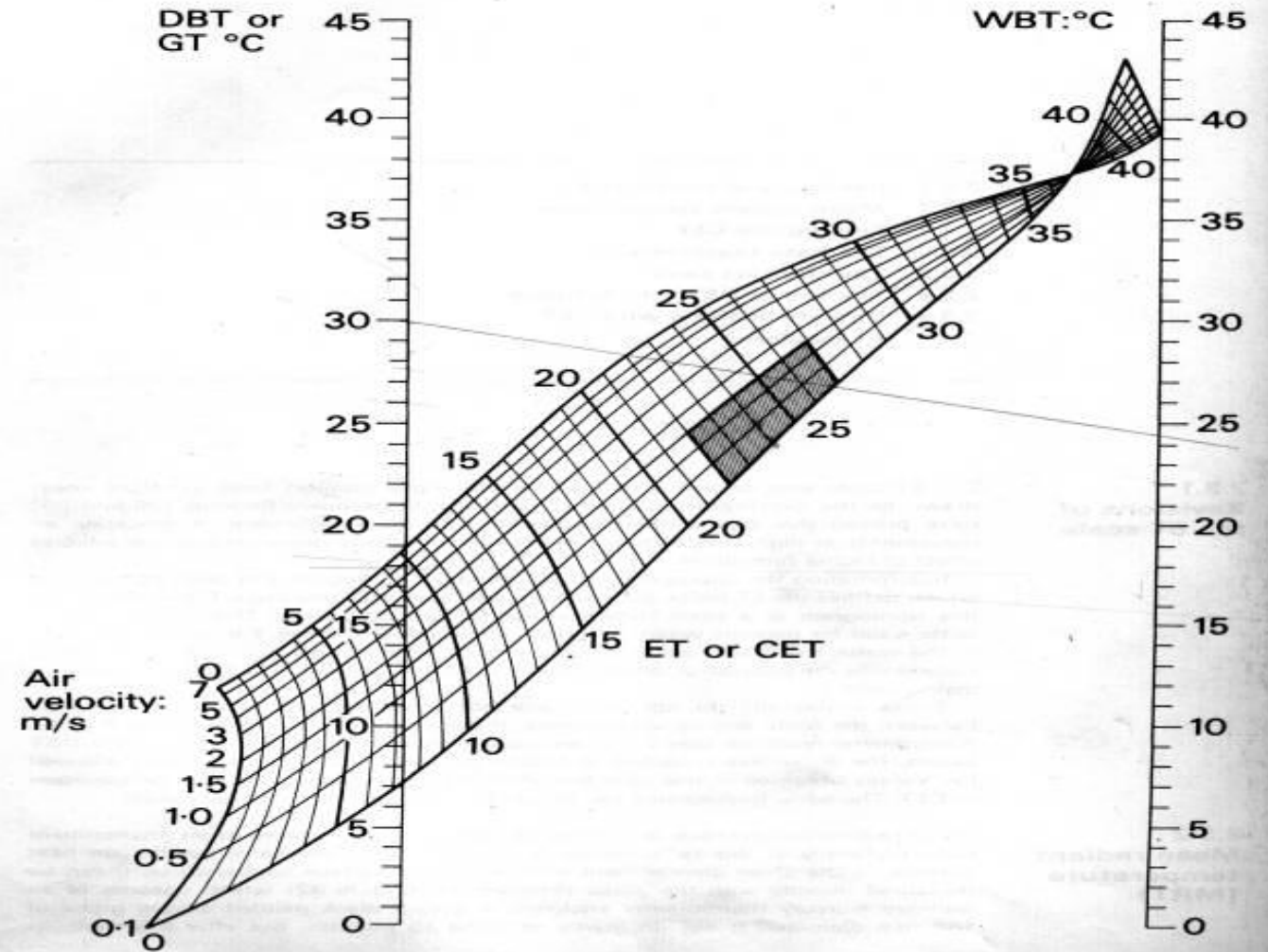
ET: Temperatura Efetiva

Houghten et al. (1923) / Vernon & Warner (1932)

54

Fig 30
Effective temperature
nomogram for
persons wearing
normal business
clothing (1 clo.)

(shaded area: comfort zone,
see para 2.3.5)



PMV / PPD

Fanger (1970)

Fanger derivou uma equação geral de conforto para calcular a combinação de variáveis ambientais incluindo temperatura radiante média, velocidade do ar, umidade, temperatura do ar, atividade e vestimenta.

PMV – Predicted Mean Vote

PPD - Predicted Percentage of Dissatisfied

PPD < 10% = PMV de - 0,5 a + 0,5

PPD < 20% = PMV de -0,82 a + 0,82

+3 = Muito quente
+2 = Quente
+1 = Levemente quente
0 = Neutro (conforto)
-1 = Levemente frio
-2 = Frio
-3 = Muito frio

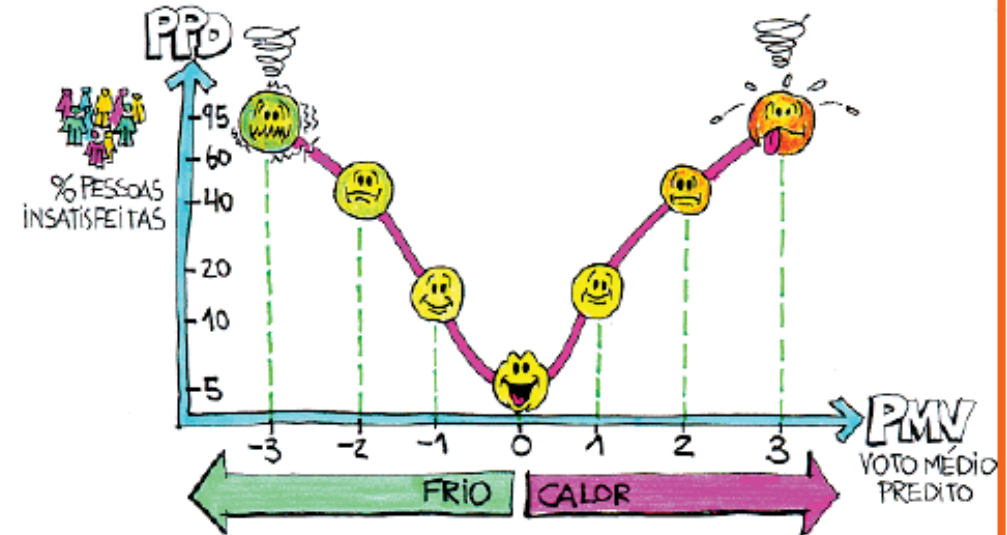


Figura 2-11: Gráfico que relaciona PMV e PPD

A evolução do conceito de conforto em AU

Tradicionalmente as normas de conforto adotavam **índices estáticos de conforto**, para avaliação de conforto térmico em estado estacionário, o que já é difícil de ser alcançado mesmo em edifícios condicionados artificialmente e, muito menos, nos naturalmente ventilados

O conceito do PMV implica em **condições estreitas e rigorosas** para o conforto térmico nos edifícios, sendo amplamente utilizados em edifícios que operam com AC por todo o tempo de utilização.

Testes feitos em laboratório (câmara climática) deveriam ser replicados em campo, já que o mundo real proporciona oportunidades para que o indivíduo reduza o seu desconforto

A evolução do conceito de conforto em AU

Conforto como um **produto** que se vende como parte do edifício, com um viés para o condicionamento mecânico de aquecimento e/ou resfriamento

Ventilação natural é vista como algo alternativo, e não tem o mesmo peso da ventilação mecânica

X

Conforto como um **objetivo** que os ocupantes devem buscar

Foco no ocupante (*who is in the control*)

Evidências de que a temperatura de conforto em edifícios naturalmente ventilados depende da temperatura externa $\pm 2^{\circ}\text{C}$ além das oportunidades de adaptação $\pm 3^{\circ}\text{C}$

ASHRAE 55 – histórico

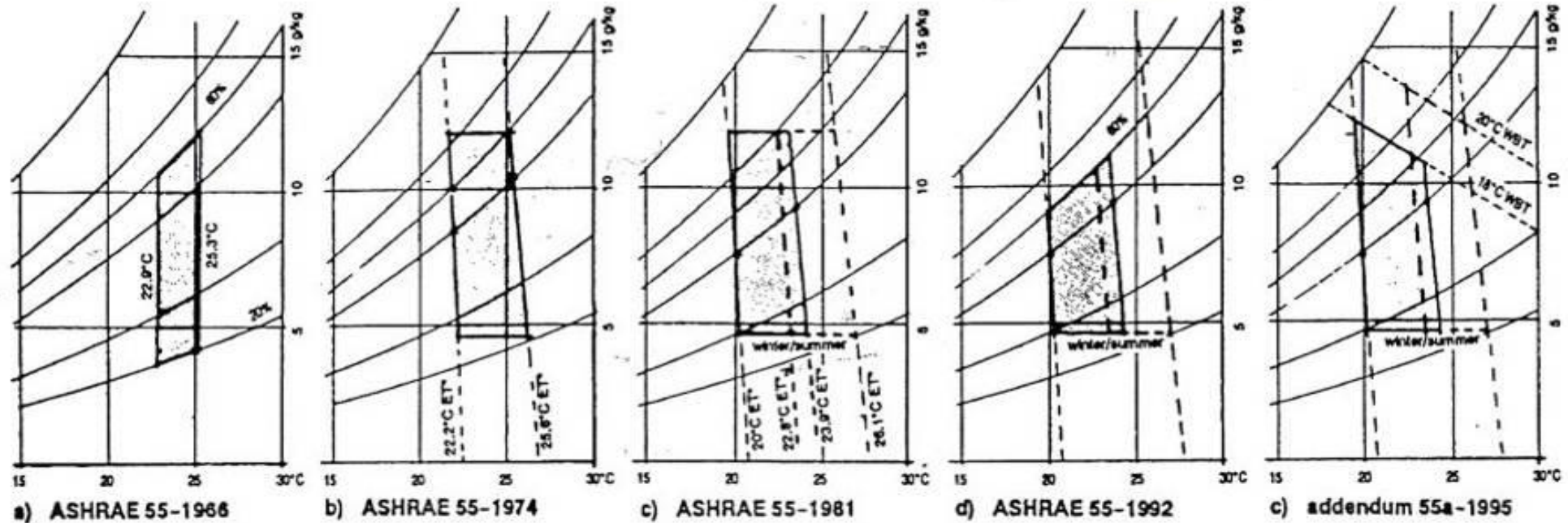


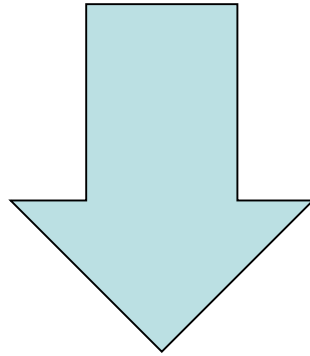
Figure 4-2. Historical development of the ASHRAE comfort zone.

A evolução do conceito de conforto em AU

1. Essa avaliação não requer apenas compreender o que o corpo humano pode suportar, mas também até que ponto as pessoas estão dispostas a fazer mudanças comportamentais na forma de experienciar o conforto em seu ambiente
2. Edifícios de menor impacto ambiental exigem um envolvimento mais proativo entre ocupante, edifício e ambiente
3. Avaliar o nível de conforto térmico é fundamental para o estabelecimento de padrões de desempenho ambiental e energético de edifícios

A evolução do conceito de conforto em AU

Em edifícios ventilados naturalmente, a variação da temperatura confortável para as pessoas é diferente das condições térmicas estreitas previstas por Fanger (1972)



**Introduz-se o conceito de adaptação térmica e o
modelo adaptativo de conforto**

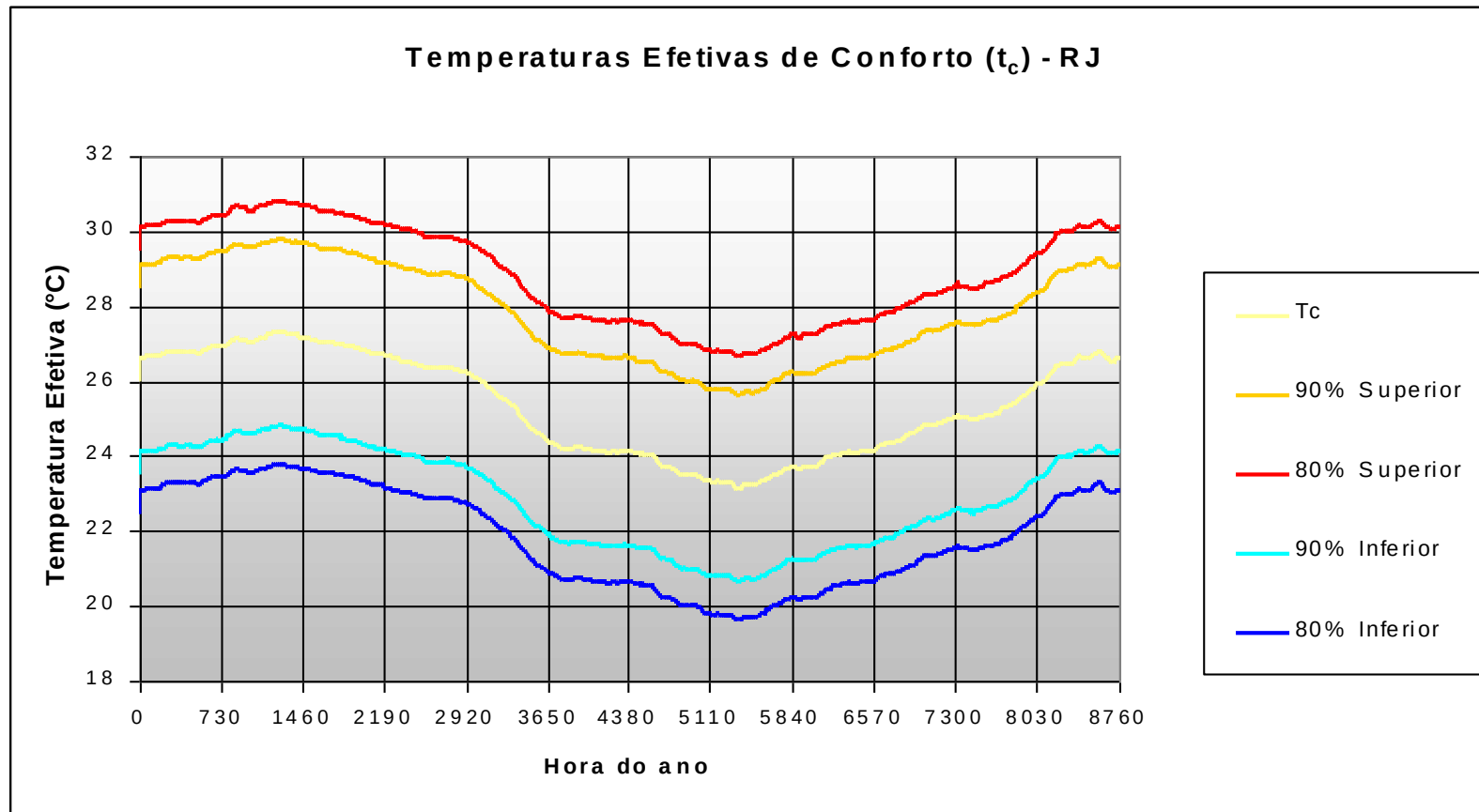
A evolução do conceito de conforto em AU

A ASHRAE 55 usou o TE^* como modelo até a sua versão de 1992.

Já na versão 2004, até a atual de 2017, recomenda o PMV para ambientes condicionados artificialmente, permitindo também a utilização o índice de temperatura neutra para edifícios naturalmente ventilados.

Atualmente a ASHRAE reconhece o valor da ventilação natural em edifícios de escritórios como forma de criar ambientes térmicos aceitáveis, uma mudança de paradigma para a arquitetura comercial.

Exemplo de aplicação: modelo adaptativo e o conceito de temperatura efetiva para o Rio de Janeiro conforme ASHRAE Report RP884



zona de conforto nos ambientes naturalmente ventilados

OT: Temperatura Operativa

(Winslow, Herrington, Gagge, 1937)

“the uniform temperature of an imaginary black enclosure in which an occupant would exchange the same amount of heat by radiation plus convection as in the actual non-uniform environment. Operative temperature is numerically the average of the air temperature (t_a) and mean radiant temperature (t_r), weighted by their respective heat transfer coefficients (h_c and h_r) which **typically equates to the arithmetic average of mean air and radiant temperatures**”

ASHRAE

$$T_o = (T_{bs} \cdot h_c + T_{rm} \cdot h_r) / (h_c + h_r)$$

sendo:

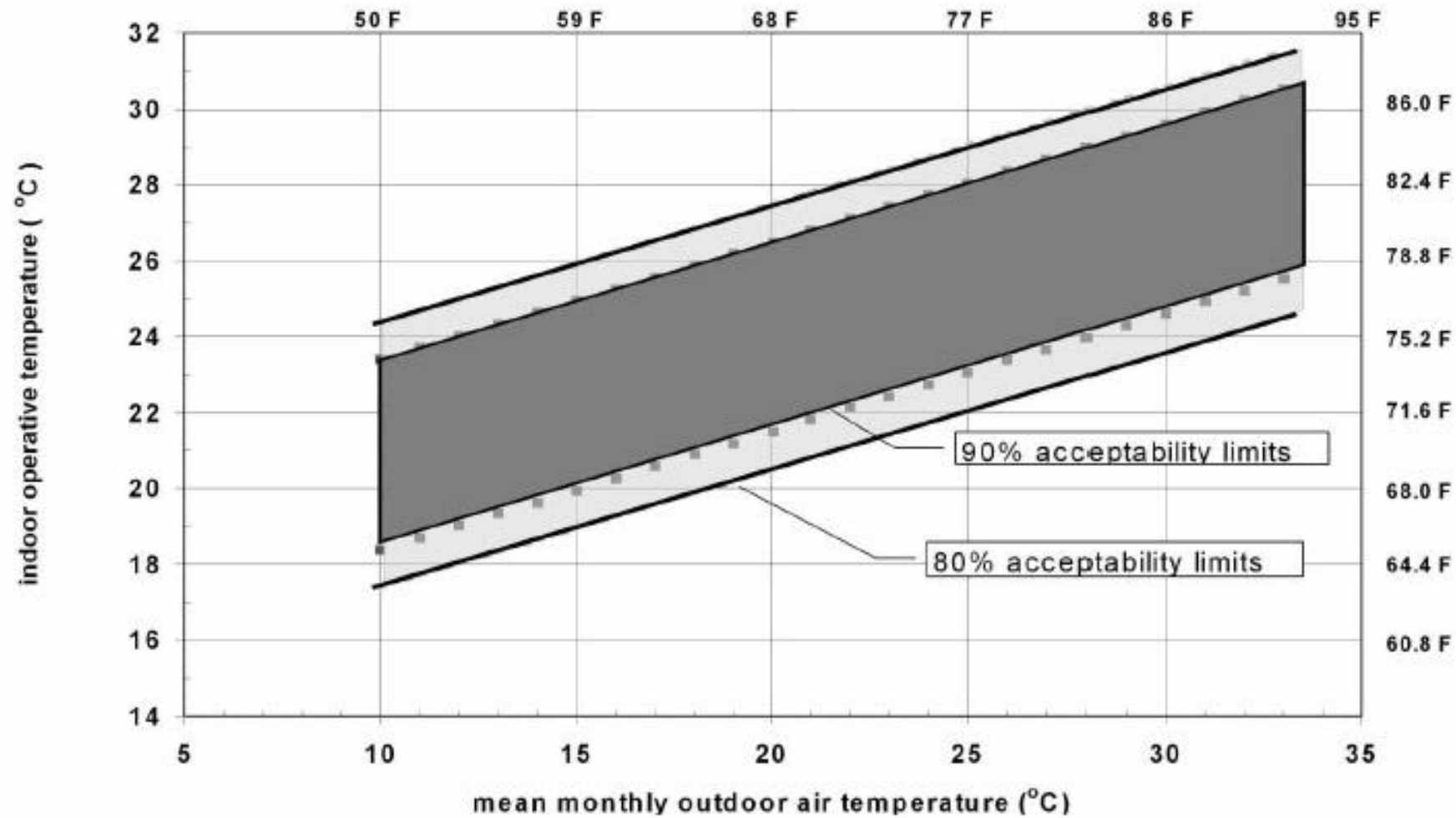
T_{bs} = temp bulbo seco

T_{rm} = temp radiante media

h_c = coeficiente de troca convectiva

h_r = coeficiente de troca radiativa

MODELO ADAPTATIVO ASHRAE 55 (2004, 2010, 2013, 2017)



Proposta de norma brasileira de conforto

Roberto Lamberts ¹, Christhina Candido ², Richard de Dear ² and Renata De Vecchi ¹

¹ Federal University of Santa Catarina (LabEEE)

² University of Sydney (IEQ Lab)

Ministério do Trabalho NR 17 – Ergonomia (1990)

“Nos locais de trabalho onde são executadas atividades que exijam solicitação intelectual e atenção constantes, tais como: salas de controle, laboratórios, escritórios, salas de desenvolvimento ou análise de projetos, dentre outros, são recomendadas as seguintes condições de conforto:

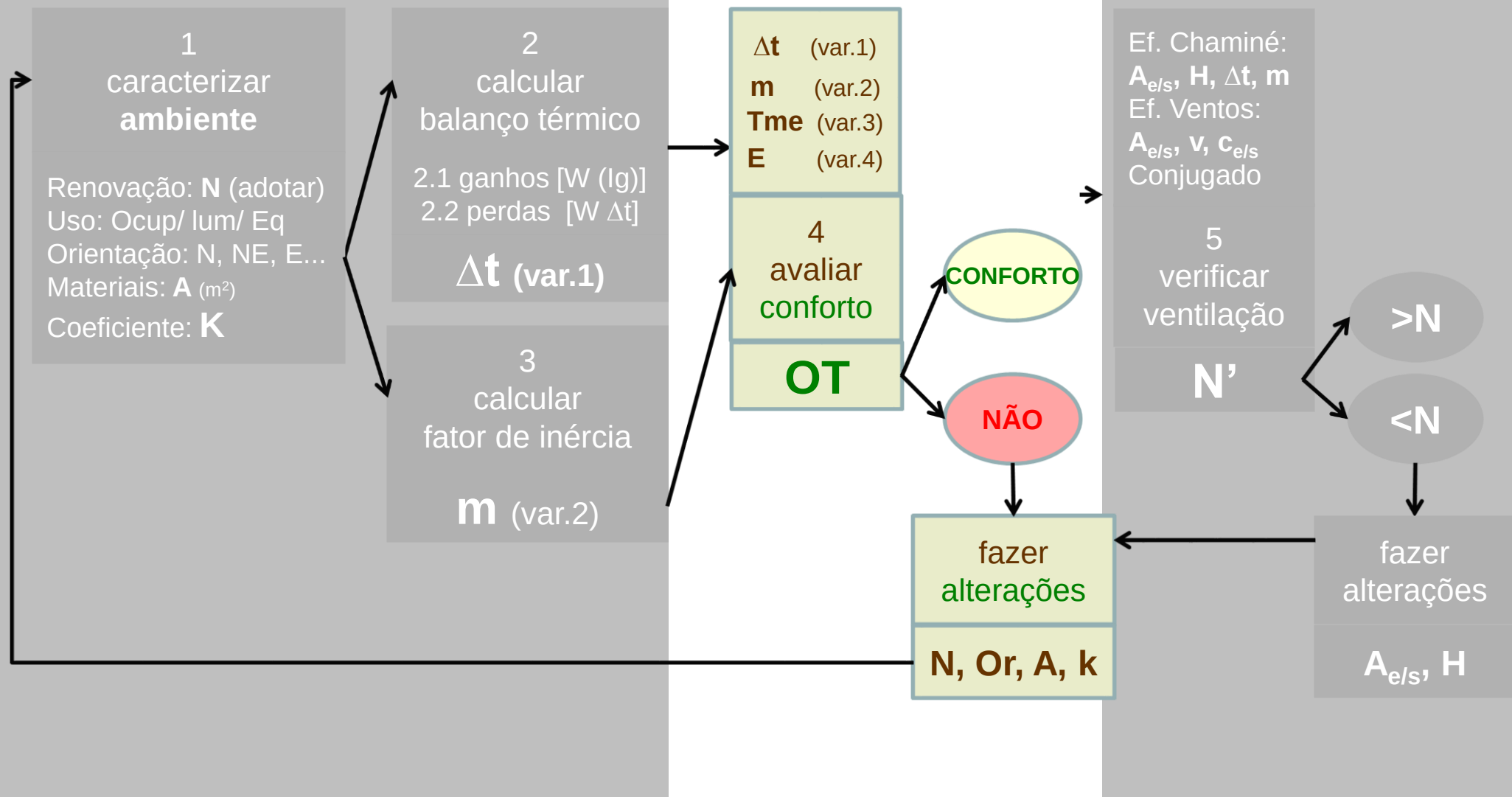
- a) níveis de ruído de acordo com o estabelecido na NBR 10152, norma brasileira registrada no INMETRO;
- b) índice de temperatura efetiva entre 20°C (vinte) e 23°C (vinte e três graus centígrados);
- c) velocidade do ar não superior a 0,75m/s;
- d) umidade relativa do ar não inferior a 40 (quarenta) por cento. “



NR 17 - ERGONOMIA	
Publicação	D.O.U.
Portaria GM n.º 3.214, de 08 de junho de 1978	06/07/78
Atualizações/A Alterações	D.O.U.
Portaria MTPS n.º 3.751, de 23 de novembro de 1990	26/11/90
Portaria SIT n.º 08, de 30 de maio de 2007	02/04/07
Portaria SIT n.º 09, de 30 de maio de 2007	02/04/07
Portaria SIT n.º 13, de 21 de junho de 2007	26/06/07
<i>(Redação dada pela Portaria MTPS n.º 3.751, de 23 de novembro de 1990)</i>	
17.1. Esta Norma Regulamentadora visa a estabelecer parâmetros que permitam a adaptação das condições de trabalho às características psicofisiológicas dos trabalhadores, de modo a proporcionar um máximo de conforto, segurança e desempenho eficiente.	
17.1.1. As condições de trabalho incluem aspectos relacionados ao levantamento, transporte e descarga de materiais, ao mobiliário, aos equipamentos e às condições ambientais do posto de trabalho e à própria organização do trabalho.	
17.1.2. Para avaliar a adaptação das condições de trabalho às características psicofisiológicas dos trabalhadores, cabe ao empregador realizar a análise ergonômica do trabalho, devendo a mesma abordar, no mínimo, as condições de trabalho, conforme estabelecido nesta Norma Regulamentadora.	
17.2. Levantamento, transporte e descarga individual de materiais.	
17.2.1. Para efeito desta Norma Regulamentadora:	
17.2.1.1. Transporte manual de cargas designa todo transporte no qual o peso da carga é suportado inteiramente por um só trabalhador, compreendendo o levantamento e a disposição da carga.	
17.2.1.2. Transporte manual regular de cargas designa toda atividade realizada de maneira contínua ou que inclua, mesmo de forma descontínua, o transporte manual de cargas.	
17.2.1.3. Trabalhador jovem designa todo trabalhador com idade inferior a dezoito anos e maior de quatorze anos.	
17.2.2. Não deverá ser exigido nem admitido o transporte manual de cargas, por um trabalhador cujo peso seja suscetível de comprometer sua saúde ou sua segurança.	
17.2.3. Todo trabalhador designado para o transporte manual regular de cargas, que não as leves, deve receber treinamento ou instruções satisfatórias quanto aos métodos de trabalho que deverá utilizar, com vistas a salvaguardar sua saúde e prevenir acidentes.	
17.2.4. Com vistas a limitar ou facilitar o transporte manual de cargas deverão ser usados meios técnicos apropriados.	
17.2.5. Quando mulheres e trabalhadores jovens forem designados para o transporte manual de cargas, o peso máximo destas cargas deverá ser nitidamente inferior àquele admitido para os homens, para não comprometer a sua saúde ou a sua segurança.	
17.2.6. O transporte e a descarga de materiais feitos por impulso ou tração de vagonetes sobre trilhos, carros de mão ou qualquer outro aparelho mecânico deverão ser executados de forma que o esforço físico realizado pelo trabalhador seja compatível com sua capacidade de força e não comprometa a sua saúde ou a sua segurança.	
17.2.7. O trabalho de levantamento de material feito com equipamento mecânico de ação manual deverá ser executado de forma que o esforço físico realizado pelo trabalhador seja compatível com sua capacidade de força e não comprometa a sua saúde ou a sua segurança.	
17.3. Mobiliário dos postos de trabalho.	
17.3.1. Sempre que o trabalho puder ser executado na posição sentada, o posto de trabalho deve ser planejado ou adaptado para esta posição.	
17.3.2. Para trabalho manual sentado ou que tenha de ser feito em pé, as bancadas, mesas, escrivaninhas e os painéis devem proporcionar ao trabalhador condições de boa postura, visualização e operação e devem atender aos seguintes requisitos mínimos:	

Referências

- ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers). Handbook of fundamentals. Atlanta, ASHRAE, 2013.
- ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers). ASHRAE 55-2017 *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. Atlanta: ASHRAE, 2017.
- Candido, C; de Dear, R. From thermal boredom to thermal pleasure: a brief literature review. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v.12, n.1, p.81-90, jan./mar. 2012
- Candido, Chisthina, Lamberts, Roberto, de Dear, Richard, Bittencourt, Leonardo, VECCHI, Renata de. *Towards a Brazilian standard for naturally ventilated buildings: guidelines for thermal and air movement acceptability*. Building Research & Information. Londres: Routledge, v. 39, n.2, 145–153, 2011.
- CEN BRITISH STANDARD (BS) EN 15251: *Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics*. London, 2007.
- Houghten, F C; Yaglou, C P (1923), Determining lines of equal comfort. ASHVE Trans. 29.
- International Organization Standardization (ISO). ISO 7730. *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*. Genève: ISO, 2005.
- International Organization Standardization. ISO 7933. Hot environments: analytical determination and interpretation of thermal stress using calculation of required sweat rate. Genève, ISO, 1989.
- Ministério do Trabalho (Brasil) (1978), NR15 Atividades e operações insalubres, Anexo 3 - Limites e tolerância para exposição ao calor. Brasília, Ministério do Trabalho.
- Monteiro, L. M. Modelos preditivos de conforto térmico em espaços abertos. São Paulo: FAUUSP, 2008.
- Monteiro, L. M. Conforto Térmico em Espaços Urbanos Abertos: verificações modelares como aportes à exploração de abordagens. Tese (Livre-docência). São Paulo: FAUUSP, 2018.
- Nicol, Fergus. Standards for thermal comfort. *Indoor air temperature standards for the 21st century*. London: Taylor & Francis, 2006.
- Nicol, J. Fergus. Adaptive comfort. *Building Research & Information*. Londres: Routledge, v.39, n. 2, p. 105-107, 2008.
- Yaglou, C P; Minard, D (1957), Control of heat casualties at military training centers. A.M.A. Archives of Industrial Health, 16, pp 302-16.



Dados de clima

Estado	Cidade	Latit.	Longit.	Altit.	Mês	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Amazonas	Manaus	03°08'	60°01'	48 m	março	25,8	30,0	23,3	33,1	21,4	88	301
					junho	26,6	31,1	23,4	33,0	21,3	83	99
					setembro	27,9	33,1	23,9	34,9	22,1	76	62
					dezembro	26,7	31,1	23,7	33,4	21,6	85	228
Rio Grande do Norte	Natal	05°46'	35°12'	18 m	março	27,3	30,2	23,6	31,3	20,8	77	189
					junho	24,9	28,2	20,9	29,2	17,9	82	284
					setembro	25,5	28,5	21,9	30,2	19,6	76	47
					dezembro	27,0	29,8	24,3	31,1	22,0	74	20
Pernambuco	Recife (Olinda)	08°01'	34°51'	56 m	março	27,0	30,0	24,1	31,5	22,0	79	197
					junho	24,7	27,6	21,8	28,7	19,7	83	318
					setembro	25,0	27,9	22,4	29,3	20,4	78	62
					dezembro	26,7	29,8	24,2	31,0	22,2	76	40
Bahia	Salvador	12°57'	38°30'	8 m	março	26,3	29,3	23,6	32,3	21,8	80	163
					junho	23,8	26,4	21,4	28,6	19,8	81	193
					setembro	23,6	26,5	21,0	28,6	19,0	80	85
					dezembro	25,6	29,0	22,8	31,2	21,5	80	99
Distrito Federal	Brasília ^a	15°52'	47°56'	1.061 m	março	22,1	27,8	17,5	32,8	15,1	73	182
					junho	18,8	25,7	12,7	28,0	9,4	70	11
					setembro	23,0	30,2	16,3	32,8	12,5	52	41
					dezembro	22,0	27,7	17,7	31,0	13,6	75	187

(1) Média aritmética mensal da temperatura em °C.

(2) Média mensal das temperaturas máximas diárias em °C.

(3) Média mensal das temperaturas mínimas diárias em °C.

(4) Temperatura máxima observada no mês (média) em °C

(5) Temperatura mínima observada no mês (média) em °C.

(6) Média aritmética mensal da umidade relativa em %.

(7) Total mensal da chuva caída (precipitação) em mm.

Fontes:
INMET (1984, 1992) e outras.

Dados de clima

Estado	Cidade	Latit.	Longit.	Altit.	Mês	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Minas Gerais	Belo Horizonte	19°56'	43°56'	915 m	março	22,3	27,7	18,4	30,2	16,0	76	165
					junho	18,0	24,3	13,2	27,2	8,8	72	10
					setembro	20,8	27,2	15,7	31,1	12,3	63	38
					dezembro	21,6	26,5	18,1	31,0	15,5	80	354
Rio de Janeiro	Rio de Janeiro	22°54'	43°10'	30 m	março	25,5	29,1	22,7	32,8	20,4	79	133
					junho	21,3	25,2	18,2	28,9	15,3	78	43
					setembro	21,5	25,0	18,7	31,2	15,7	78	54
					dezembro	24,5	27,8	21,6	33,4	18,8	79	127
São Paulo	São Paulo ^a	23°37'	46°39'	802 m	março	21,0	25,7	17,7	29,9	14,0	79	114
					junho	15,6	20,8	11,9	25,2	7,8	80	28
					setembro	19,0	25,1	15,0	31,9	9,4	71	46
					dezembro	20,4	24,6	17,4	30,7	13,8	80	180
Paraná	Curitiba	25°25'	49°16'	947 m	março	19,2	25,1	15,7	29,2	12,1	84	124
					junho	13,2	19,4	8,9	24,2	2,3	83	88
					setembro	14,8	21,1	10,5	26,4	5,0	81	130
					dezembro	18,9	25,3	14,8	29,5	6,6	81	147
Rio Grande do Sul	Porto Alegre	30°02'	51°13'	10 m	março	23,3	29,0	19,1	33,5	14,4	75	88
					junho	15,0	20,0	11,0	25,6	4,6	83	140
					setembro	16,8	21,7	12,8	28,9	7,6	77	124
					dezembro	23,4	29,4	18,4	33,9	14,3	69	88

(1) Média aritmética mensal da temperatura em °C.

(2) Média mensal das temperaturas máximas diárias em °C.

(3) Média mensal das temperaturas mínimas diárias em °C.

(4) Temperatura máxima observada no mês (média) em °C.

(5) Temperatura mínima observada no mês (média) em °C.

(6) Média aritmética mensal da umidade relativa em %.

(7) Total mensal da chuva caída (precipitação) em mm.

Fontes:

INMET (1984, 1992) e outras.

Dados de clima

Determinar temperatura externa média (te_{med}) e elongação (E)

T_s — máxima observada no mês mais quente (média máx absolutas) — coluna 4;

T_d — média das máximas diárias do mês mais quente — coluna 2;

t_s — mínima observada no mês mais quente (média mín absolutas) — coluna 5;

t_d — média das mínimas diárias do mês mais quente — coluna 3.

$$Te_{max} = (T_d + T_s) / 2 \quad e \quad Te_{min} = (t_d + t_s) / 2 \quad \Rightarrow \quad te_{med} = (Te_{max} + Te_{min}) / 2$$

$$\text{Amplitude: } A = Te_{max} - Te_{min} \quad \Rightarrow \quad \text{Elongação: } E = A / 2$$

Determinação das condições ambientais internas

1) Cálculo da temperatura interna máxima ($t_{i_{max}}$)

$$t_{i_{max}} = t_{e_{med}} + (1-m).E + (1-m).\Delta t \text{ (}^\circ\text{C)}$$

$$t_{i_{max}} = 22,8 + (0,4) \cdot 6 + (0,4) \cdot 14,2 = 30,8^\circ\text{C}$$

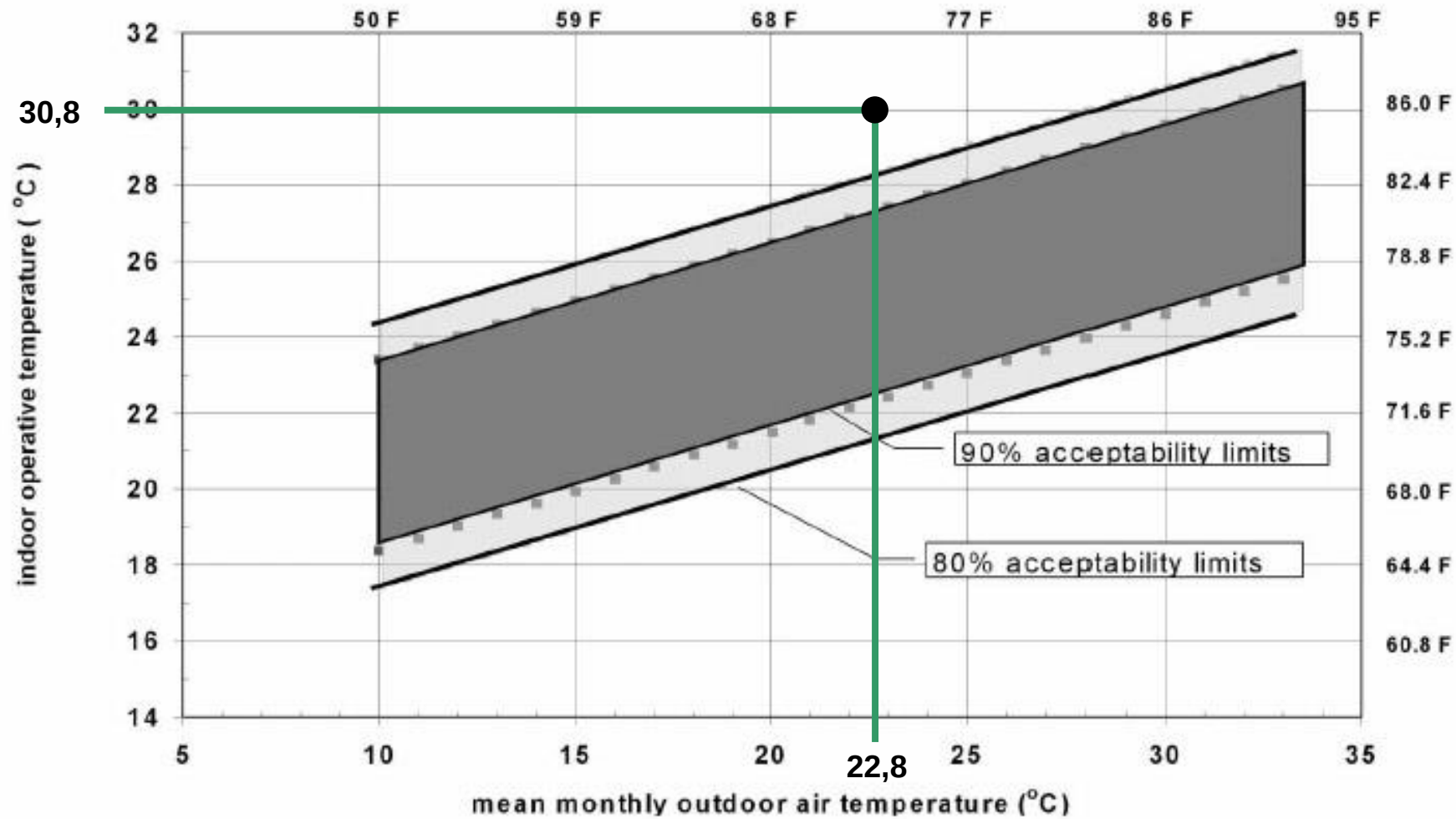
2) Consideração da temperatura externa média ($t_{e_{med}}$)

$$t_{e_{med}} = 22,8^\circ\text{C}$$

3) Verificação: está dentro da zona de conforto térmico?

4) Qual a percentagem de satisfeitos?

MODELO ADAPTATIVO ASHRAE 55 (2004, 2010, 2013, 2017)



Determinação das condições ambientais internas

1) Cálculo da temperatura interna máxima ($t_{i_{max}}$)

$$t_{i_{max}} = t_{e_{med}} + (1-m).E + (1-m).\Delta t \text{ (}^{\circ}\text{C)}$$

$$t_{i_{max}} = 22,8 + (0,4) \cdot 6 + (0,4) \cdot 14,2 = 30,8^{\circ}\text{C}$$

2) Consideração da temperatura externa média ($t_{e_{med}}$)

$$t_{e_{med}} = 22,8^{\circ}\text{C}$$

3) Verificação: está dentro da zona de conforto térmico?

Não

4) Qual a percentagem de satisfeitos?

< 80%

