

Bioclimatologia humana – 27.02.2023

A adaptação humana ao ambiente atmosférico

1. Fundamentos
2. Balanço energético do Corpo Humano
3. Stress térmico e esforço termoregulatório
4. Conforto térmico

1. Fundamentos



Termorregulação
Controlo da postura

2. Balanço energético do corpo humano

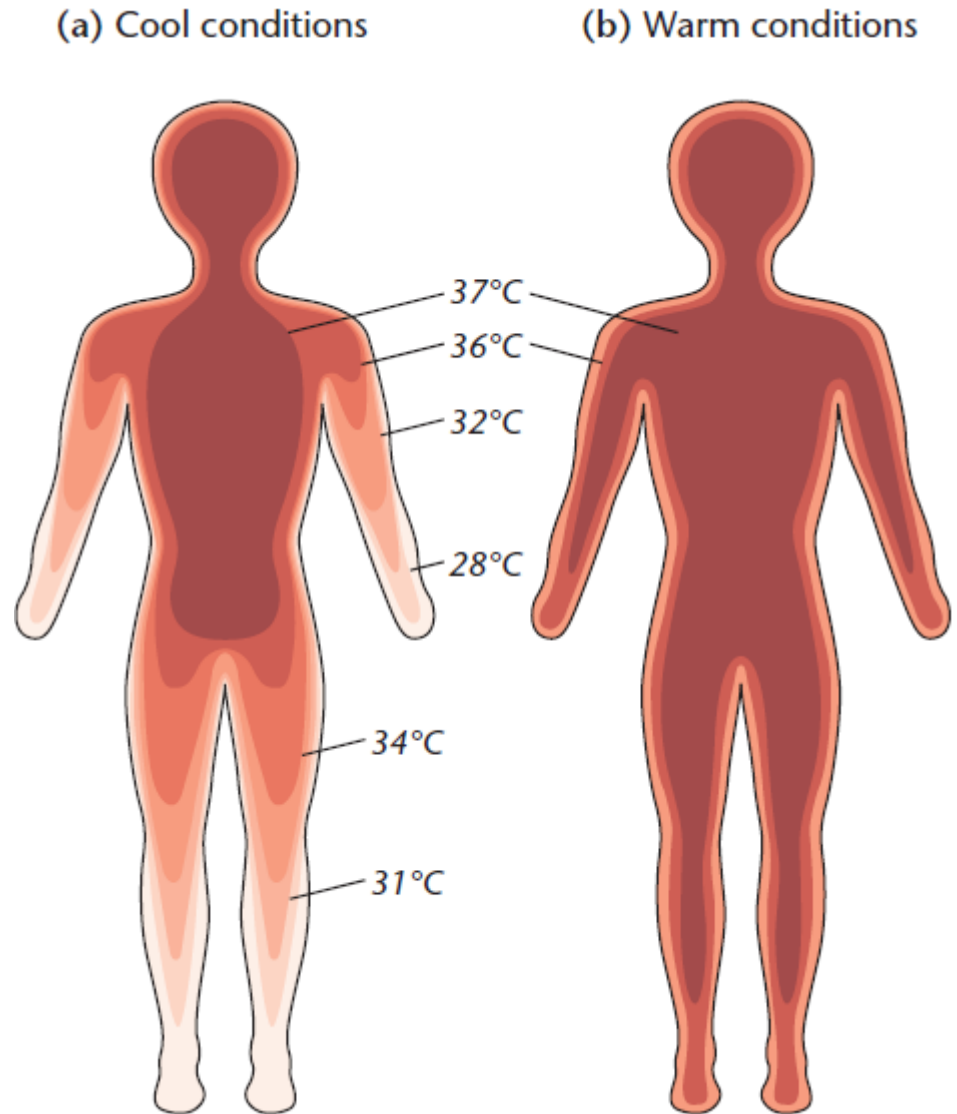
- Trocas internas de energia

Níveis de esforço e taxa metabólica

Activity	Metabolic rate	
	(W)	(W m ⁻²)
Resting		
Sleeping	70	40
Seated, quiet	110	60
Standing relaxed	130	70
Walking on a level surface		
Pace 0.9 m s ⁻¹	210	115
Pace 1.2 m s ⁻¹	270	150
Pace 1.8 m s ⁻¹	400	220
Office		
Writing	110	60
Walking about	180	100
Lifting/packing	220	120
Occupational		
Cooking	170–210	95–115
Housecleaning	210–360	115–200
Handling 50 kg bags	420	235
Pick and shovel work	420–500	235–280
Leisure		
Dancing	250–460	140–255
Tennis	380–490	210–270
Basketball	520–880	290–440

(extraído de Oke et al, 2017; ASHRAE, 2009)

Controlo vasomotor e temperatura



(extraído de Oke et al, 2017)

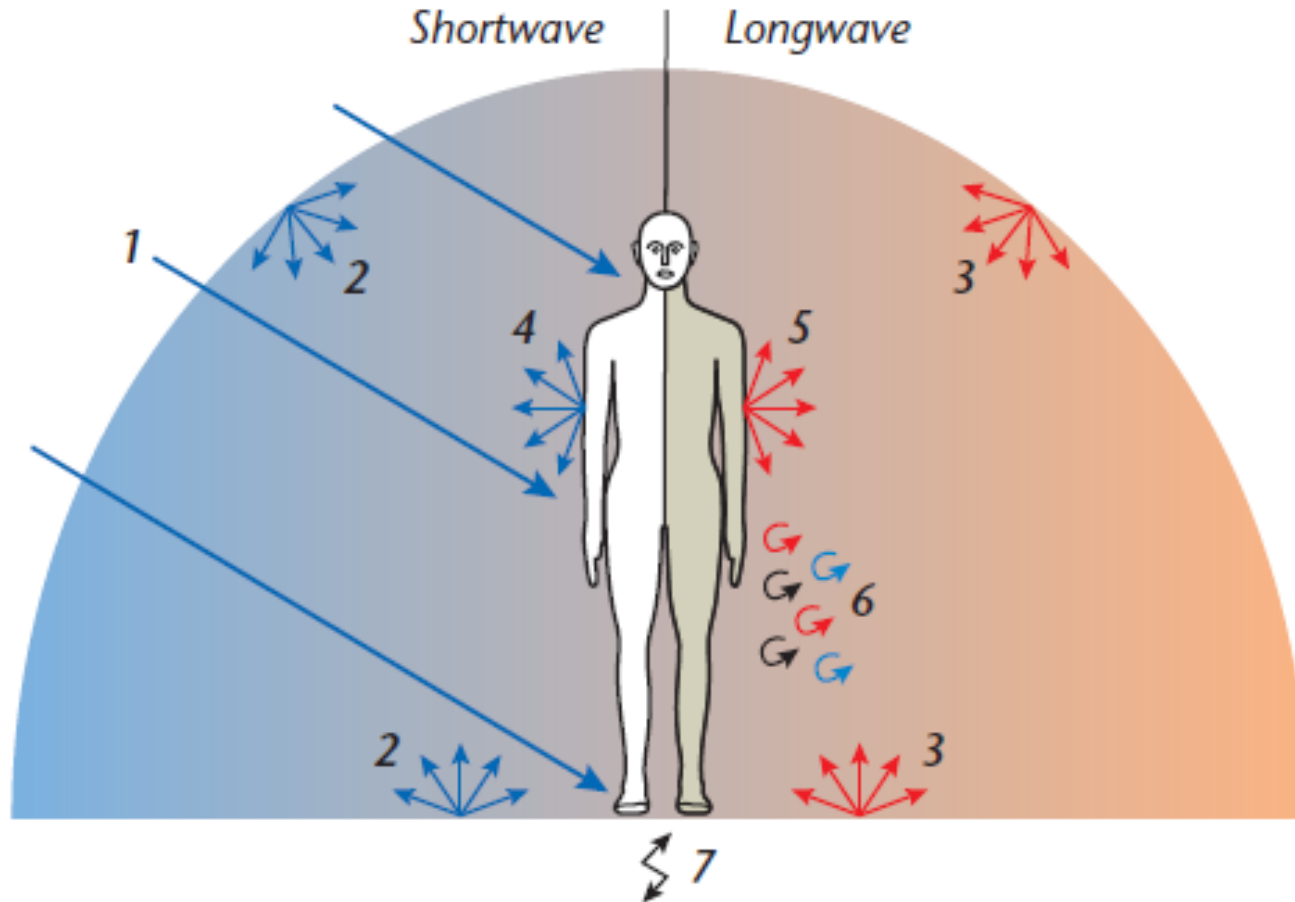
2. Balanço energético do corpo humano

- Trocas externas de energia (à superfície do corpo)

$$Q^* + Q_M = Q_H + Q_E + Q_G + \Delta Q_S \text{ (W m}^{-2}\text{)}$$

Q^*	balanço de radiação
Q_M	energia interna (produzida pelo metabolismo)
Q_H	fluxo de densidade de calor sensível
Q_E	trocas de calor latente (difusão na pele e respiração)
Q_G	trocas de calor sensível <i>via</i> condução
ΔQ_S	variação do calor armazenado ($\Delta Q_S \cong 0$)

Trocas de energia à superfície do corpo humano



1 – radiação solar direta	3 – radiação emitida pela atmosfera e solo
2 – radiação solar difusa	5 – radiação emitida pelo corpo humano
4 – radiação solar refletida	6 – perda convectiva de calor (sensível e latente)
	7 – troca de calor por condução

(extraído de Oke et al, 2017)

Temperatura radiativa média (TMRT)

- A temperatura radiativa média (T_{MRT}) é um parâmetro que combina todos os fluxos radiativos de grande e pequeno comprimento num único valor. É definida como a temperatura de um corpo negro circundante que provoca o mesmo fluxo de calor radiativo que o complexo de fluxos radiativos.

(Gosling et al, 2014)



Vestuário:

isolamento e espessura do ar
confinado (resistência térmica)

Garment	Insulation I_{cl} (K m ² W ⁻¹)	Depth of still air (mm)
Individual clothing layers		
Underwear (e.g. underpants, T-shirt, slip)	0.03–0.10	0.15–0.52
Footwear (e.g. socks, slippers, boots)	0.02–0.10	0.10–0.52
Shirts/Blouses (e.g. short and sleeve shirt, sweatshirt)	0.15–0.30	0.78–1.55
Trousers (e.g. shorts, trousers, overalls)	0.06–0.28	0.31–1.45
Sweaters/Jackets	0.20–0.35	1.03–1.81
Dresses/skirts	0.15–0.40	0.78–2.07
Outdoor clothing (coat, parka)	0.55–0.70	2.84–3.62
Clothing ensemble		
Underwear with long sleeves and legs, shirt, trousers, jacket, socks, shoes	0.155	5.17
Underwear with short sleeves and legs, shirt, trousers, jacket, thermojacket and trousers, socks, shoes	0.225	7.50
Underwear with long sleeves and legs, thermojacket and trousers, parka with heavy quilting, socks, shoes, cap, gloves	0.395	13.17

(extraído de Oke et al, 2017)

3. Stress térmico e esforço termoregulatório

Stress térmico: os termos na equação do balanço energético ajustam-se continuamente conforme o ambiente ao qual o corpo está exposto se altera e o corpo responde. Ao todo, há seis variáveis que regulam estas trocas: radiação, temperatura do ar, humidade e a velocidade do vento, que representa o ambiente de exposição.

Esforço termoregulatório (mecanismos termoregulatórios): resposta do corpo ao stress térmico, procurando assegurar que as variações do calor armazenado se mantêm próximo de zero ($\Delta Q_S \cong 0$).

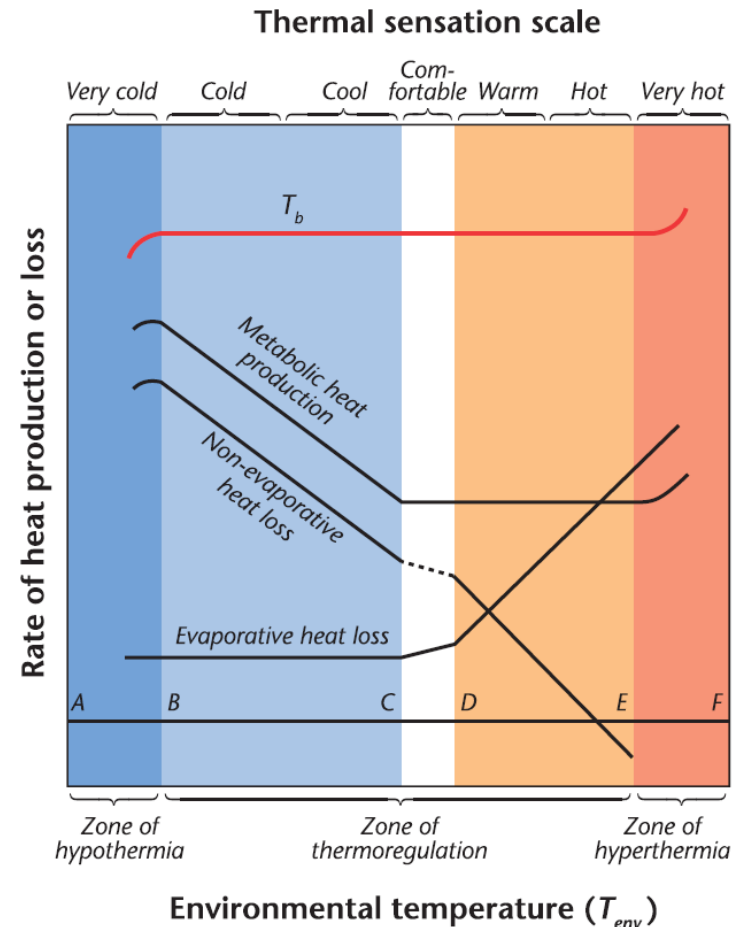
Condições ambientais e seus efeitos no balanço energético do corpo humano

Fonte: Koppe et al, 2004

Variável ambiental	Efeito no balanço energético do corpo humano	Explicação
Temperatura do ar	$T_{(pele)} > T_{(ar)}$ $T_{(pele)} < T_{(ar)}$	Perda de calor (convecção) da pele para o ambiente Ganho de calor (convecção) para a pele, proveniente do ambiente
Temperatura radiativa	Trocas de energia (radiação) entre a pele e o ambiente	Ao sol, a temperatura radiativa pode facilmente exceder a temperatura do ar , o que resulta em transferência de calor (radiação) do ambiente para a pele
Temperatura do solo	Trocas de calor por condução (pouco importante)	Em geral, o valor destas trocas é desprezível , dada a reduzida superfície de contacto com o solo.
Humidade do ar (≠ humidade relativa)	Ganhos ou perdas de calor por evaporação	A humidade do ar (não é a humidade relativa) determina se o fluxo de humidade (vapor de água, suor) ocorre da pele para o ambiente ou vice-versa. A <u>evaporação do suor é a mais importante via para a dissipação do excesso de calor do corpo humano</u>
Velocidade do vento	Convecção e Evaporação	As trocas de calor aumentam com o aumento da velocidade do vento

Stress térmico e esforço termoregulatório

- para manter a temperatura corporal constante de 37°C , o corpo necessita de gerir as transferências de energia (equação do balanço de energia).
- quando o corpo está **confortável (C-D)**, o corpo tem **pouca dificuldade** para dissipar o calor metabólico (Q_M) que gera.
- quando as condições ambientais geram **arrefecimento (frio) (C-B)** o corpo gera energia (Q_M) para compensar a perda de calor por radiação e pelos fluxos de calor sensível ($Q^* + Q_H$).
- Quando as condições ambientais geram **aquecimento (calor) (D-E)**, a perda de calor corporal via ($Q^* + Q_H$) diminui e o **corpo responde aumentando a perda de calor através da transpiração regulatória (Q_E)**.
- Em situações de **stress térmico extremo (B-A e E-F)**, o corpo não consegue manter a temperatura corporal constante e experiencia **hipotermia** or **hipertermia**.

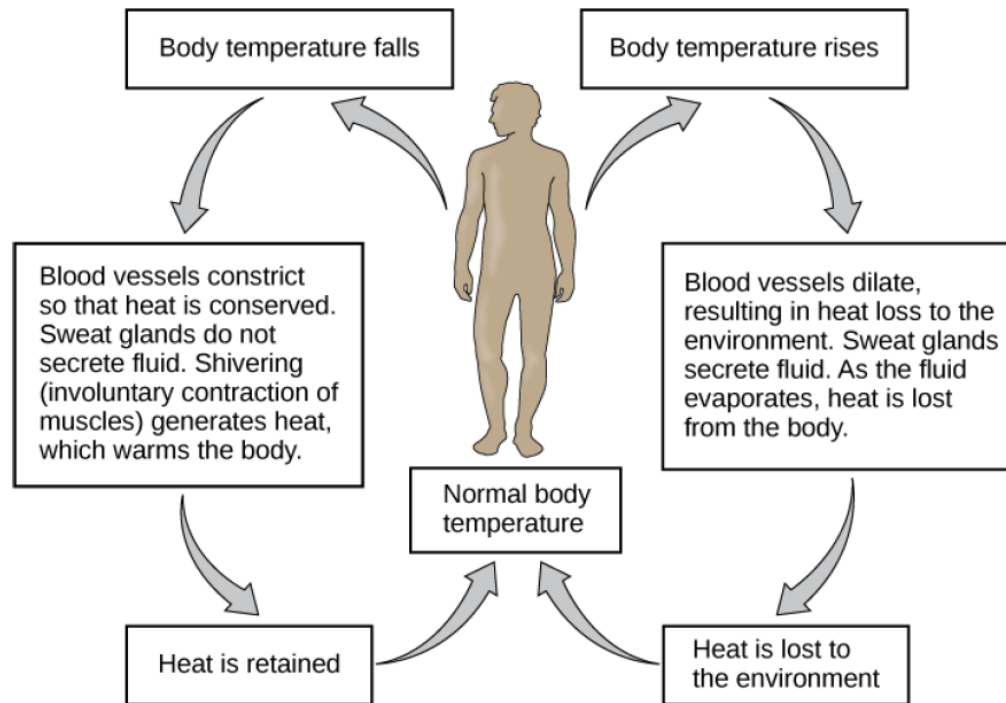


Fonte: Oke et al, 2017 (chap. "Climates of Humans")

Stress térmico e mecanismos termoregulatórios

Cold weather
Cold stress

Hot weather
Heat stress



Human thermoregulatory mechanisms.

Source: <https://wou.edu/chemistry/courses/online-chemistry-textbooks/ch103-allied-health-chemistry/ch103-chapter-9-homeostasis-and-cellular-function/>

4. Conforto térmico

O conforto térmico é definido como a *condição da mente que exprime satisfação com o ambiente térmico, sendo estimada por uma avaliação que é subjectiva* (ASHRAE Standard 55-2010). Assim, um indivíduo que se diz confortável não se sente demasiado quente nem demasiado frio e não tem qualquer desejo de alterar o seu vestuário/níveis de atividade para modificar o ambiente ao qual está exposto.

Intervalos de valores de índices térmicos (PMV, PET), percepção térmica e stress fisiológico em seres humanos (Oke, et al, 2017)

PMV	PET	Thermal perception	Grade of physiological stress	Universal Thermal Climate Index (UTCI) (°C) range	Physiological responses
-3.5	4	Very cold	Extreme cold stress	< 40 -27 to -40	Decrease in core temperature Shivering, average skin temperature will fall below 0°C if exposure is sustained
-2.5	8	Cold	Strong cold stress	-13 to -27	Face temperature < 7°C (numbness), core to skin temperature gradient increases
		Cool	Moderate cold stress	0 to -13	Vasoconstriction, exposed skin temperature < 15°C
-1.5	13	Slightly cool	Slight cold stress	+9 to 0	Localized cooling, need for gloves
-0.5	18				
		Comfortable	No thermal stress	+9 to +26	Comfortable, sweat rate < 100 g h ⁻¹
0.5	23				
1.5	29	Slightly warm	Slight heat stress	+26 to +32	Slight heat stress
		Warm	Moderate heat stress	+32 to +38	Positive change in rate of sweating, and of skin temperature
2.5	35	Hot	Strong heat stress	+32 to +38	Sweat rate > 200 g h ⁻¹
3.5	41			+38 to +46	Small core to skin temperature gradient (< 1 K). Sweat rate increase (> 650 g h ⁻¹ at limit)
		Very hot	Extreme heat stress	> 46	Increase in core temperature

Referências

ASHRAE, 2009: ASHRAE Handbook: Fundamentals – IP Edition. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, GA.

Gosling, S.N., Bryce, E.K., Dixon, P.G. et al. (2014). A glossary for biometeorology. *Int J Biometeorol* 58, 277–308 <https://doi.org/10.1007/s00484-013-0729-9>

Koppe C, Kovats S, Jendritzky G & Menne B (2004) *Heat waves: risks and responses. Health and Global Environmental Change*, series 2, World Health Organization, 124pp.

Oke T, Mills G, Christen A, Voogt, J. (2017). *Urban Climates*. Cambridge University Press. doi: 10.1017/9781139016476.