

# Seminário-Projecto de Geografia Física 2022/23

20 de Março de 2023

Marcelo Fragoso

Sumário:

Introdução à bioclimatologia: avaliação do conforto térmico humano e  
índices de extremos de temperatura

- 1. Introdução
- 2. O conforto térmico e a sua avaliação:
  - Índices de conforto térmico
- 3. Índices de extremos de temperatura (ondas de calor e de vagas de frio)

# 1. Introdução

## Biometeorologia - Bioclimatologia

- *“ciência interdisciplinar que aborda as interacções entre os processos atmosféricos e os organismos vivos”*

(International Society of Biometeorology, 2013)

Como é que o “tempo” e o “clima” afectam os seres vivos?

# Biometeorologia – Bioclimatologia

Grandes domínios de estudo atuais (exemplos):

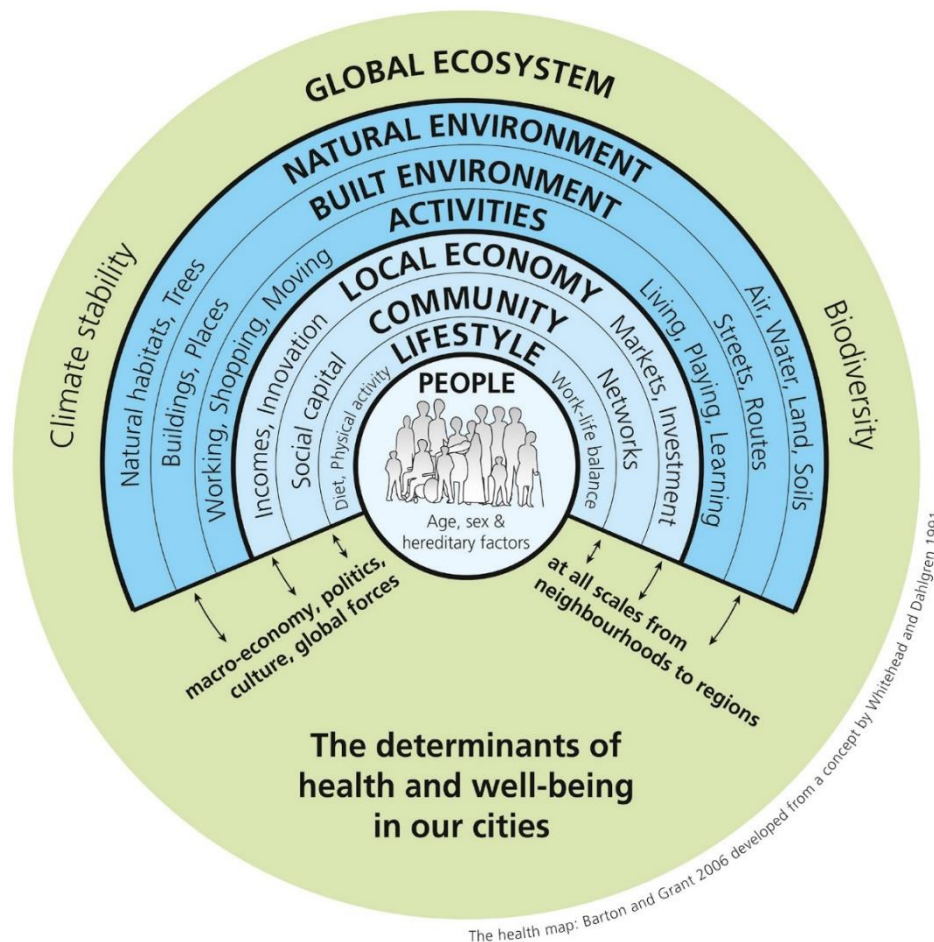
- Relação entre o tempo e as colheitas agrícolas
- Efeitos das alterações climáticas nos ciclos de vida das plantas (fenologia)
- Efeitos da poluição nos seres vivos (árvores) e nos humanos
- Influência do tempo na produção, saúde e bem estar animal
- Avaliação da tolerância dos organismos a condições ambientais extremas
- Impactos de eventos meteorológicos na saúde humana

→ **Clima e saúde / Efeitos das alterações climáticas na saúde humana**

Fonte: [www. http://biometeorology.org/](http://biometeorology.org/)

**Clima:** faz parte das determinantes da **Saúde** e a sua influência exerce-se a diferentes escalas

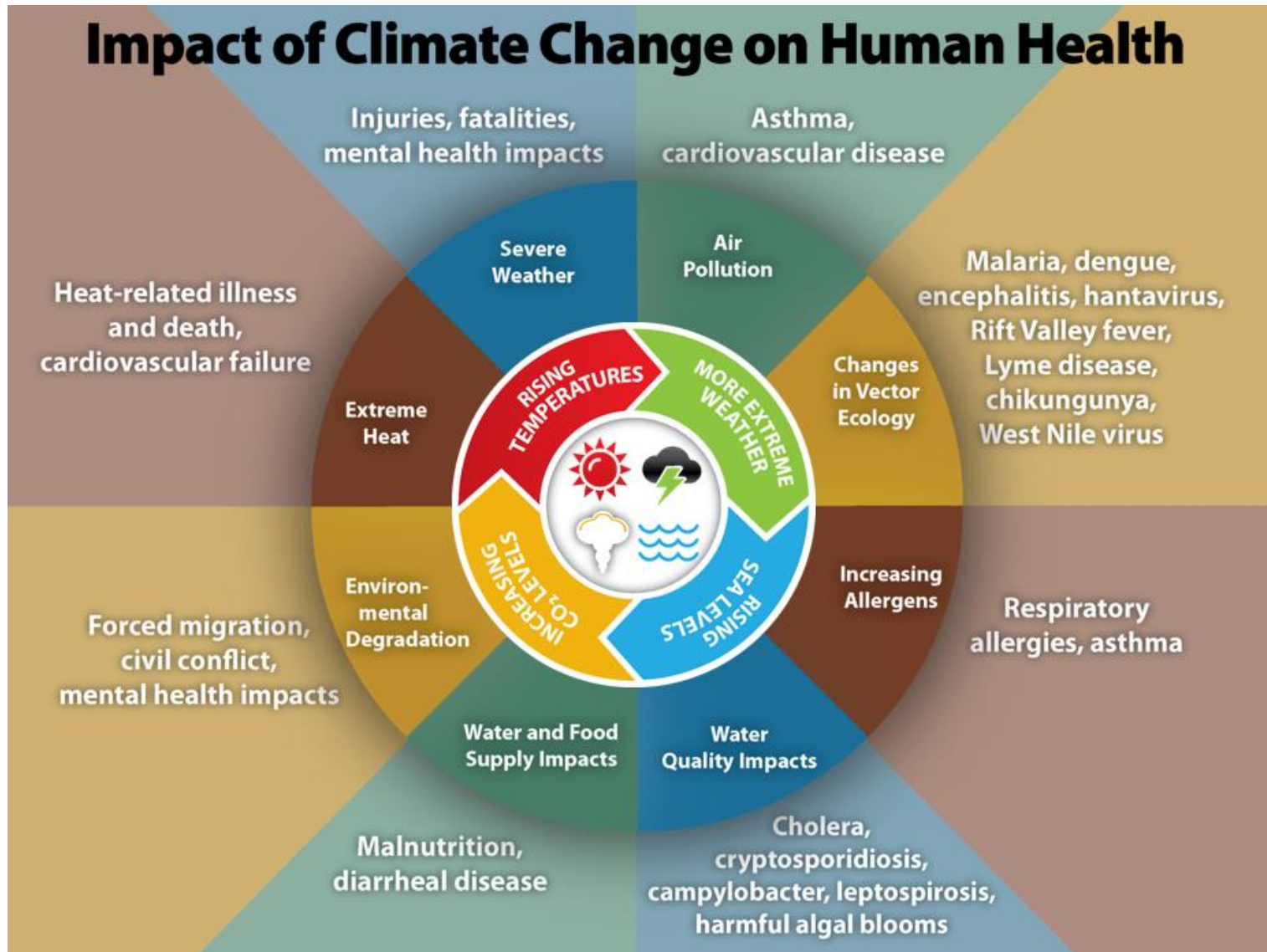
## Determinantes da Saúde



<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0033350616302505>

(Graham & White, 2016)

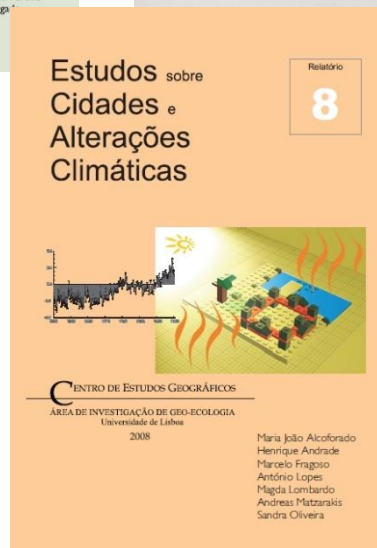
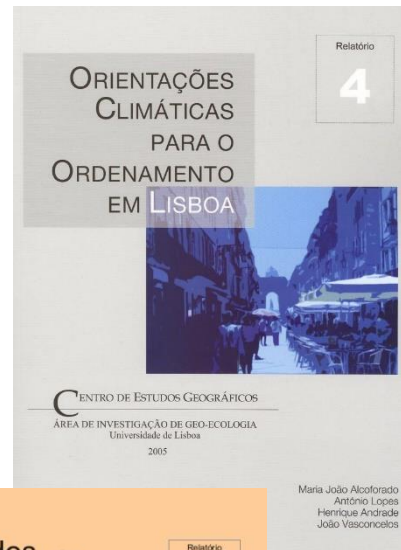
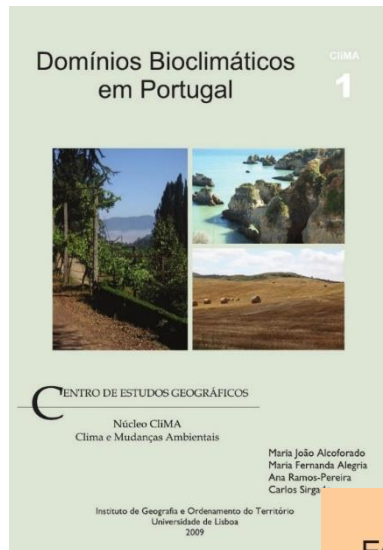
# Impact of Climate Change on Human Health



*“Climate change impacts a wide-range of health outcomes. This slide illustrates the most significant climate change impacts (rising temperatures, more extreme weather, rising sea levels, and increasing carbon dioxide levels), their effect on exposures, and the subsequent health outcomes that can result from these changes in exposures.”*

Fonte: <https://www.cdc.gov/climateandhealth/effects/default.htm>

# Alguns exemplos de publicações no CEG:



**ÍNDICE**

MARIA JOÃO ALCOFORADO <i>Issue on Applied Human Bioclimatology in memory of Henrique Andrade</i> .....	3-14
VÍLIATO SOROMENHO-MARQUES <i>Henrique Andrade (1960-2013)</i> .....	15-16
<b>ARTIGOS</b>	
<b>BIOCLIMATOLOGY: FROM TEMPERATE TO TROPICAL ENVIRONMENTS</b>	
ANDREAS MATZARAKIS, STEFAN MUTHERS, FRANK RUTZ <i>Application and comparison of UTCI and PET in temperate climate conditions</i> .....	21-31
ANTÓNIO LOPES, EZEQUIEL CORREIA, JUDITE M. DO NASCIMENTO, PAULO CANÁRIO <i>Urban Bioclimate and comfort assessment in the African city of Praia (Cape Verde)</i> .....	33-48
TEU-PING LIN, HENRIQUE ANDRADE, S. OLIVEIRA, RILEY-LUNG HWANG, A. MATZARAKIS <i>Outdoor thermal perception in different climatic regions. Initial results from Taichung (Taiwan) and Lisbon (Portugal)</i> .....	49-58
<b>URBAN CLIMATOLOGY AND BIOCLIMATOLOGY OF LISBON</b>	
MARIA JOÃO ALCOFORADO, ANTÓNIO LOPES, ELIS ALVES, PAULO CANÁRIO <i>Lisbon heat island. Statistical study (2004-2012)</i> .....	61-80
SOFIA BALTAZAR <i>New bioclimatic maps of Lisbon. Spatial modelling of Physiological Equivalent Temperature</i> .....	81-94
ÁGOTA SZÉCS, TAMÁS GÁL, HENRIQUE ANDRADE <i>Comparison of measured and simulated Mean Radiant Temperature. Case study of Lisbon (Portugal)</i> .....	95-111
SANDRA OLIVEIRA, TERESA VAZ, HENRIQUE ANDRADE <i>Perception of thermal comfort by users of urban green areas in Lisbon</i> .....	113-131
<b>TOURISM BIOCLIMATOLOGY</b>	
KRZYSZTOF BLAZIJCZYK, VERA VINOGRADOVA <i>Adaptation strain index for tourists traveling from central and northern Europe to the Mediterranean</i> .....	135-152
RAQUEL MACHETE, ANTÓNIO LOPES, M. BELÉN GÓMEZ MARTÍN, HELDER FRAGA <i>Tourism and climate in Lisbon. An assessment based on weather types</i> .....	153-176
<b>ENVIRONMENTAL IMPACTS</b>	
PAULO CANÁRIO, MARCELO FRAGOSO, CARLA MOIRA, HELENA NOGUEIRA <i>Environmental conditions and childhood asthma in Lisbon. An exploratory analysis for Autumn thunderstorms</i> .....	179-196
ÁNGELA SANTOS, SUSANA MENDES, JOÃO CORTE-REAL <i>Impacts of the storm Hercules in Portugal</i> .....	197-220

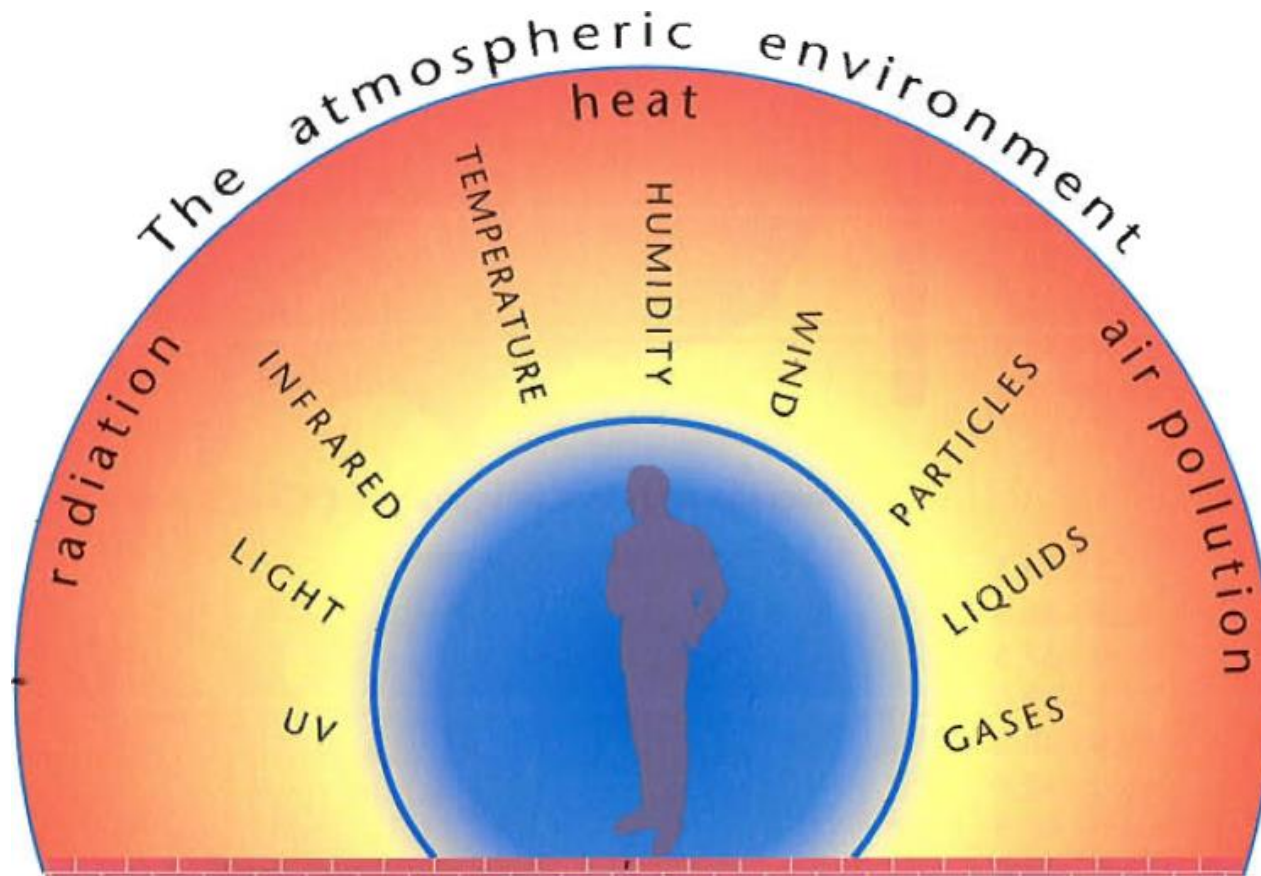
Finisterra, 98, 2014  
Número especial de Bioclimatologia Humana  
em memória de **Henrique Andrade**

## 2. O conforto térmico e a sua avaliação





# Relação causa-efeito entre **ambiente atmosférico e a saúde e conforto humano**



# Relação causa-efeito entre **ambiente atmosférico e a saúde e conforto humano**

- Pode colocar-se em relação a três complexos:
  - **térmico**, que considera os elementos meteorológicos que apresentam um *efeito termofisiológico* nos seres humanos;
  - **poluição do ar**, que diz respeito à *acção dos poluentes atmosféricos, naturais e antrópicos*, no organismo humano;
  - e **actínico**, ou seja, que compreende a *influência direta que a radiação solar (espectro visível e ultravioleta)* apresenta nos seres humanos.

Matzarakis & Amelung (2008) , citados em Fernandes, 2018

# Sistema de termorregulação humano

- Os seres humanos são *homeotérmicos* têm uma *temperatura corporal* interna quase constante de 37° C, que é mantida pelo sistema de termorregulação do corpo, garantindo a *homeostase* (equilíbrio térmico e hídrico), sob condições normais.
- A regulação do calor disponível no corpo é assegurada, em parte, por processos metabólicos internos em *resposta às condições ambientais externas*, envolvendo fluxos de *radiação, de calor sensível e de calor latente*.
- A *termorregulação* incorpora um conjunto de *processos fisiológicos* (fluxo sanguíneo\*, taxa de sudação, atividade metabólica) e *comportamentais* (ações voluntárias) que gerem as trocas de calor entre o corpo e o ambiente, de tal forma que o ganho ou perda líquida de energia se mantém perto de zero.

(Oke et al, 2017; “Climates of Humans”)

\* *vasodilatação; vasoconstrição*

# 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.



(ANSI/ASHRAE Standard 55-2010, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy)

- Esta definição destaca a **componente psicológica** na avaliação do estado térmico de uma pessoa.
- Embora o equilíbrio térmico possa ser uma condição necessária para o conforto, não é suficiente.

# Conforto térmico

# de interior (*indoor*) de exterior (*outdoor*)

O **conforto térmico de exterior** condiciona directamente:

- muitas **actividades ao ar livre** (incluindo atividades laborais, turismo e lazer, desporto)
- a **saúde** (população em geral, e de modo particular, os grupos mais vulneráveis - crianças, idosos, indivíduos com patologias sensíveis às condições atmosféricas)
- **consumo de energia** (influência sobre as condições de interior)

# Balanço energético do corpo humano

Os termos do balanço energético são continuamente ajustados como resposta humana à exposição a **variáveis de controlo**:

- **metabolismo** (dependente do nível de exercício)
- **vestuário**
- **condições ambientais**

# Balanço energético do corpo humano

- Trocas internas de energia

## Níveis de esforço e taxa metabólica

É gerado calor quando os alimentos metabolizados são quimicamente convertidos em energia que alimenta a atividade física interna (por exemplo, a respiração) e externa (por exemplo, exercício de caminhar ou de correr). Este calor gerado chama-se **calor metabólico**.

Enquanto uma parte desta energia (calor metabólico) é gasta como energia mecânica (tal como andar a pé), **a grande maioria (> 95%) é convertida em calor que deve ser dissipado para o ambiente.**

A magnitude da **taxa metabólica** (W, W/m<sup>2</sup>) depende fortemente do **nível de esforço**.

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

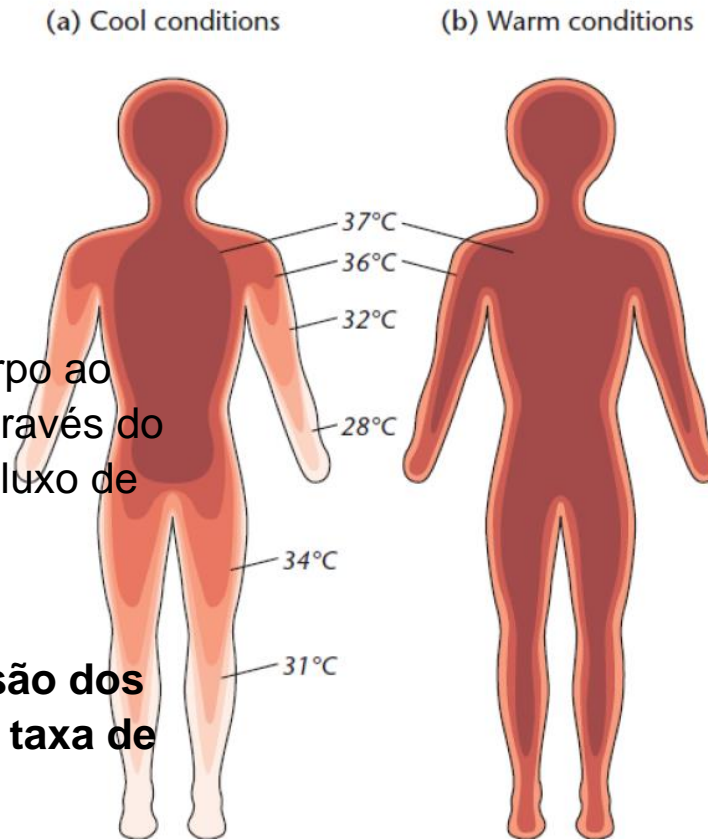
# Balanço energético do corpo humano

- Trocas internas de energia

Controlo  
vasomotor  
e  
temperatura

Uma das principais respostas do corpo ao excessivo perda/ganho de calor é através do **controlo vasomotor**, que regula o fluxo de sangue para a pele e, assim gere a temperatura da pele.

**A vasodilatação provoca a expansão dos vasos sanguíneos, aumentando a taxa de fluxo sanguíneo para a pele. A vasoconstrição causa o oposto.**



(extraído de Oke et al, 2017)



## Balanço energético do corpo humano

- Trocas internas de energia
- 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

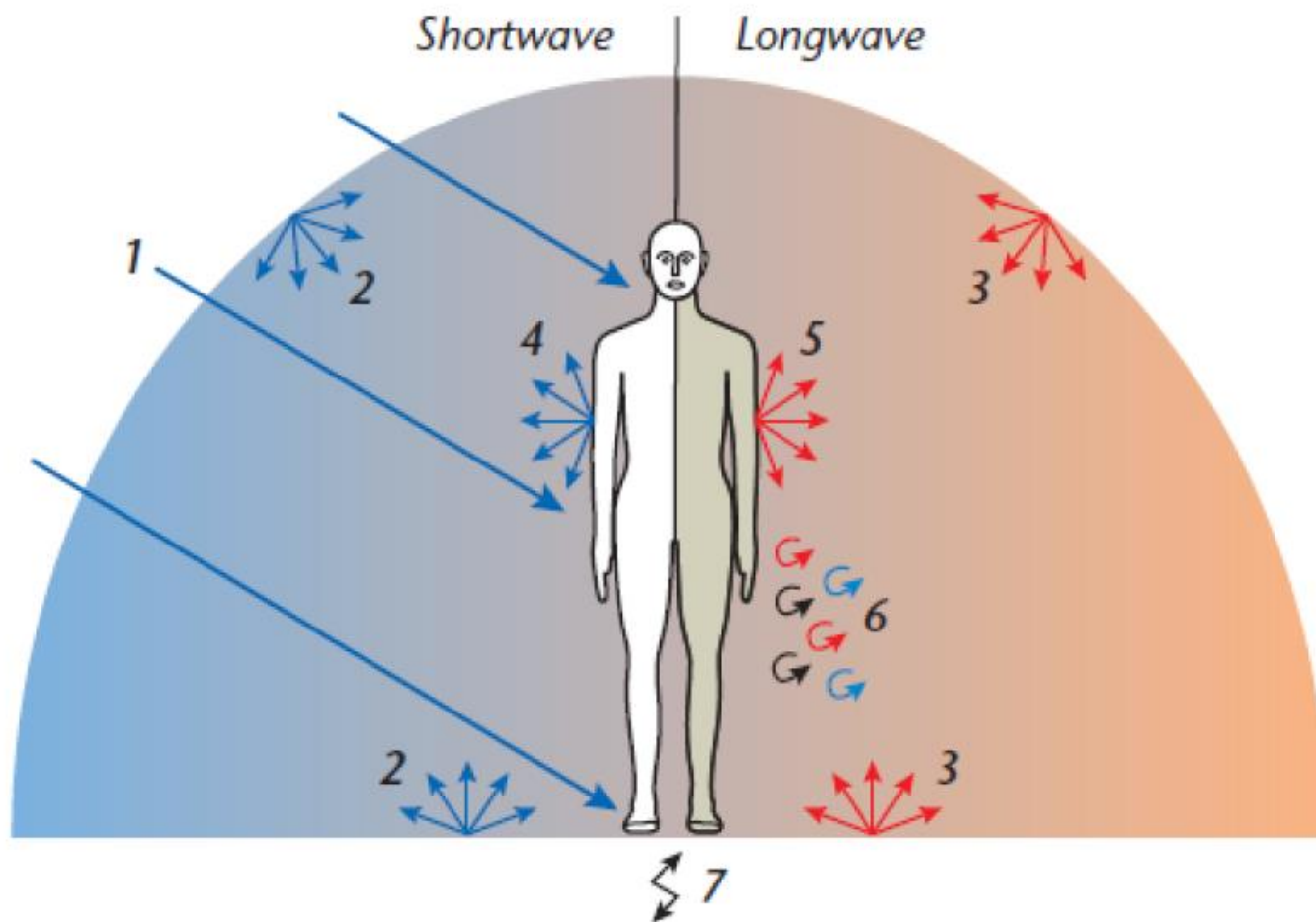
$Q_E$  trocas de calor latente (difusão na pele e respiração)

$Q_G$  trocas de calor sensível *via* condução

$\Delta Q_S$  variação do calor armazenado ( $\Delta Q_S \cong 0$ )

(extraído de Oke et al, 2017)

# 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 $I_{cl}$ ( $\text{K m}^2 \text{W}^{-1}$ )	Depth of still air (mm)
<b>Individual clothing layers</b>		
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
<b>Clothing ensemble</b>		
Underwear with long sleeves and legs, shirt, trousers, jacket, socks, shoes	0.155	5.17
Underwear with short sleeves and legs, shirt, trousers, jacket, thermo jacket and trousers, socks, shoes	0.225	7.50
Underwear with long sleeves and legs, thermo jacket and trousers, parka with heavy quilting, socks, shoes, cap, gloves	0.395	13.17

(extraído de Oke et al, 2017)

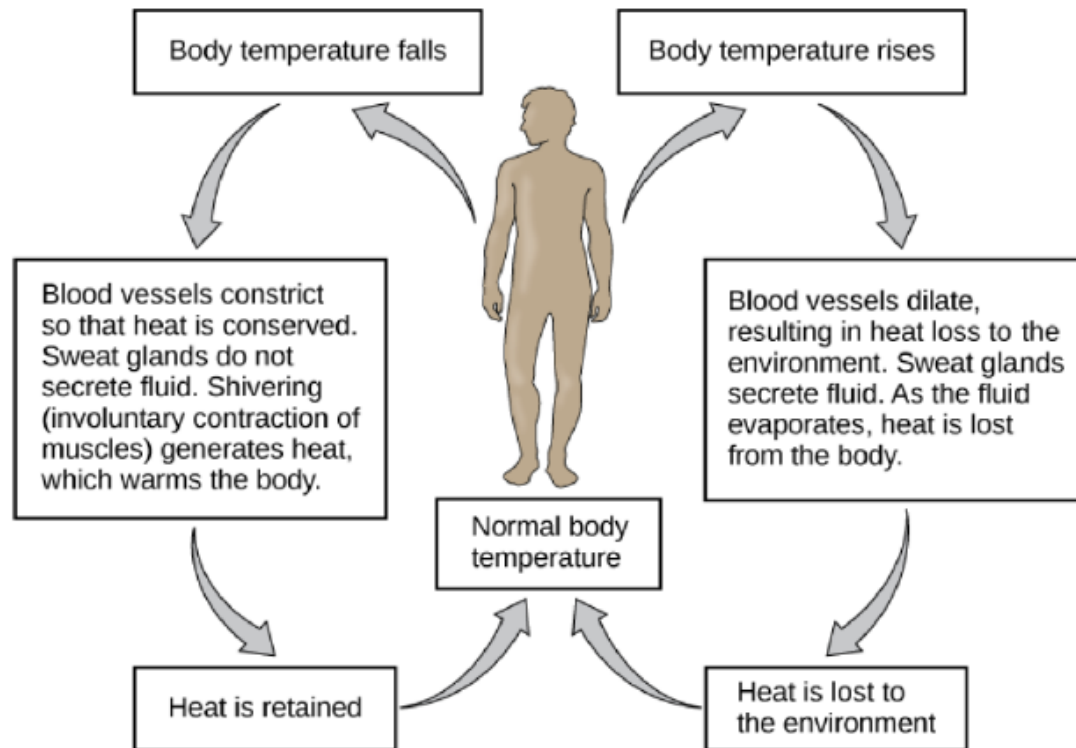
**Stress térmico:** os termos na equação do balanço energético ajustam-se continuamente conforme o ambiente ao qual o corpo está exposto se altera e o corpo responde. Ao todo, há seis variáveis que regulam estas trocas: radiação, temperatura do ar, humidade e a velocidade do vento, que representa o ambiente 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 ( $\Delta QS \cong 0$ ).

# Stress térmico e mecanismos termoregulatórios

**Cold weather**  
**Cold stress**

**Hot weather**  
**Heat stress**

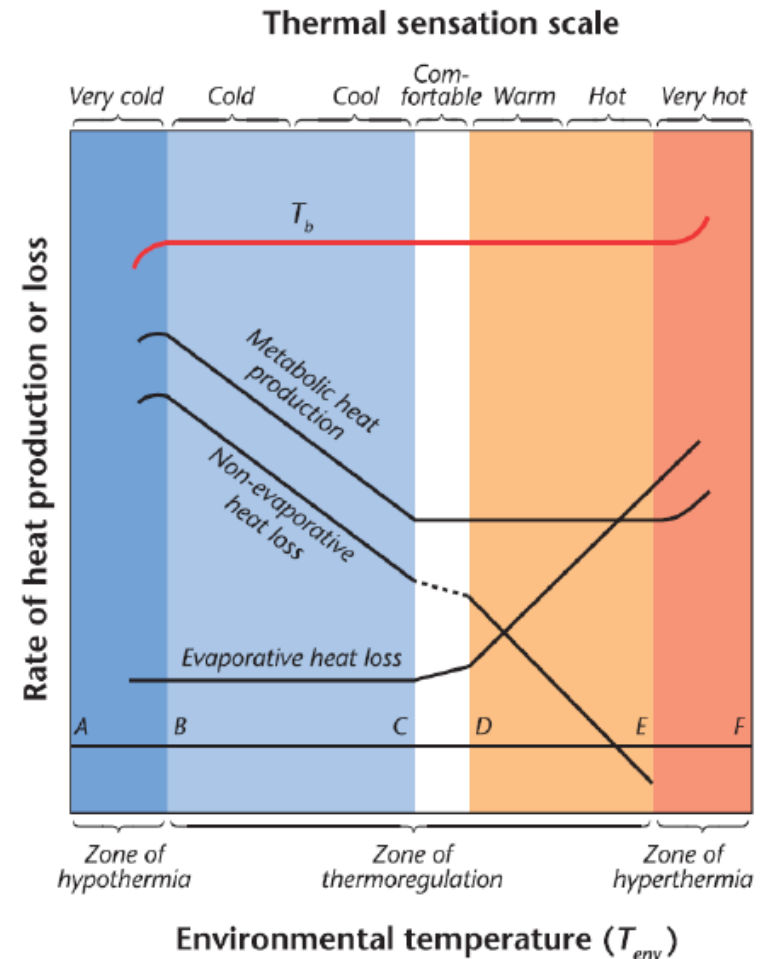


**Human thermoregulatory mechanisms.**

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

# Stress térmico e sobrecarga corporal

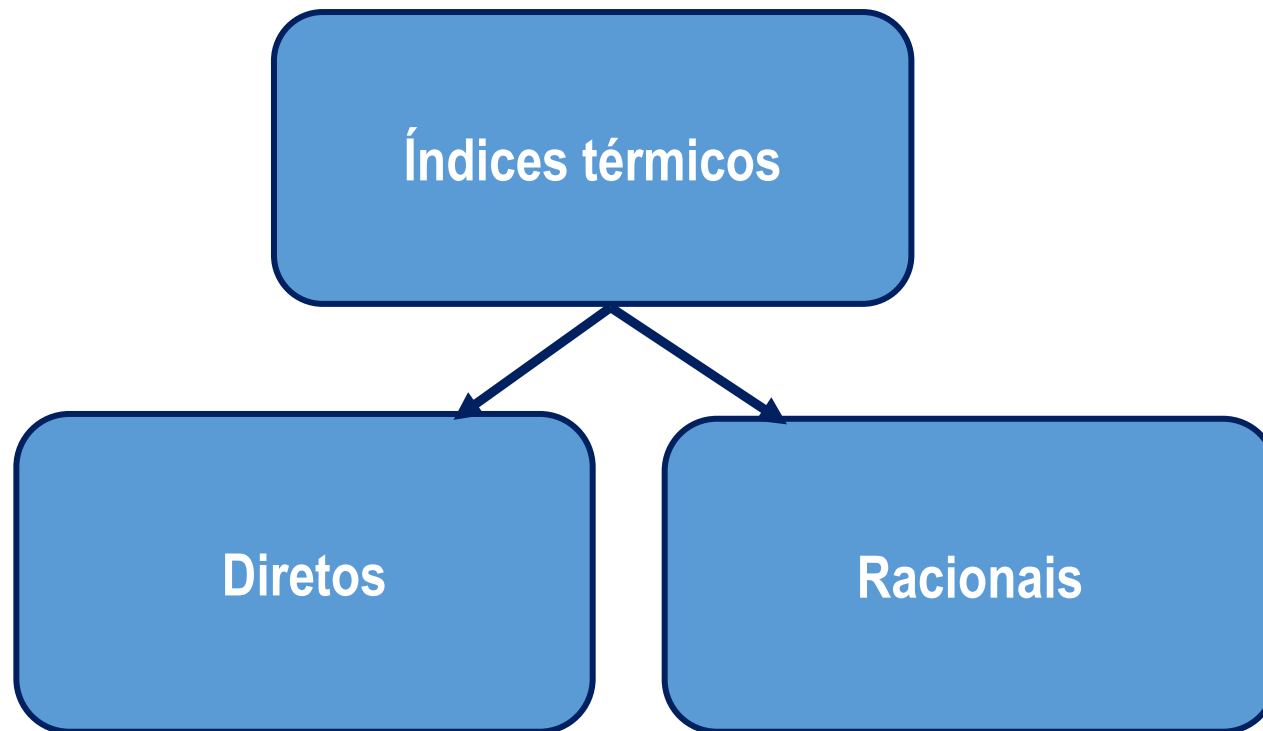
- para manter a temperatura corporal constante de  $37^{\circ}\text{C}$ , o corpo necessita de gerir as transferências de energia (equação do balanço de energia).
- quando o corpo está **confortável (C-D)**, o corpo tem **pouca dificuldade para dissipar o calor metabólico ( $Q_M$ )** que gera.
- quando 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")

# Índices de conforto térmico

- Visam expressar a acção das condições ambientais (climáticas) sobre o conforto térmico





## Índices diretos (exemplos: **Humidex, Wind Chill**)

**Baseados em dados meteorológicos** que, em geral, estão disponíveis.

- Grande vantagem: fácil cálculo.
- Desvantagens: traduzem uma avaliação insuficiente do ambiente térmico, não dão qualquer indicação dos fatores que contribuem para o stress térmico.

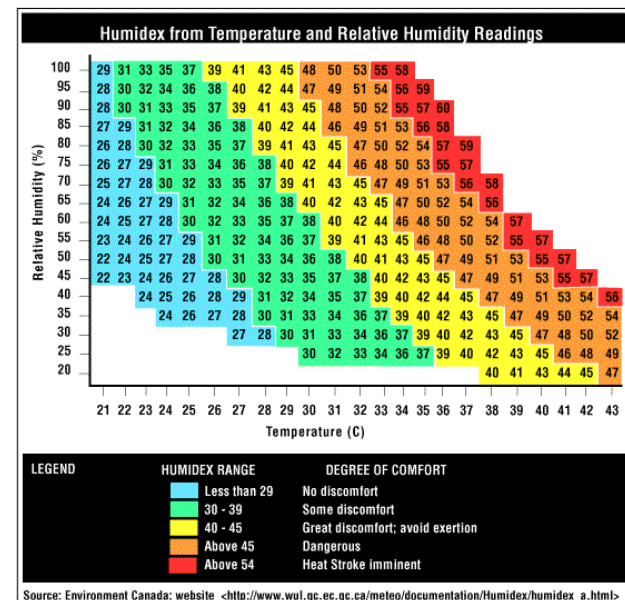
# Índice Humidex

- Desenvolvido no Canadá (1965)
- Combina a **temperatura** ( $T_a$ , °C) e a **humidade** ( $T_d$ , °C) num índice que reflecte a percepção térmica do indivíduo

$$\text{Humidex} = T_a + \frac{5}{9} \left( 6.11 \times \exp^{5417.7530 \left( \frac{1}{273.16} - \frac{1}{T_d} \right)} - 10 \right)$$

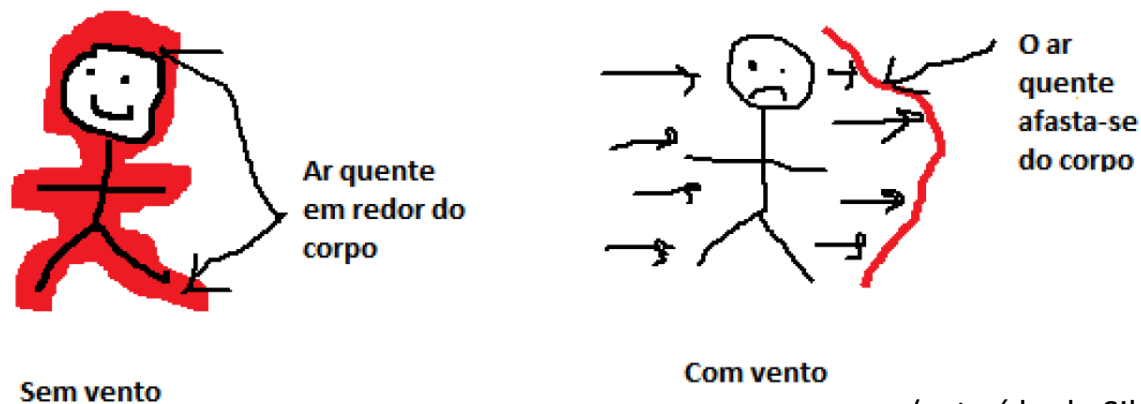
- Limiares e graus de conforto/desconforto associado ao calor:

- < 29 : Ausência de desconforto
- 30 a 39 : Algum desconforto
- 40 a 45 : Grande desconforto
- > 45 : Perigoso
- > 54 : Risco cardiovascular



# Índice Windchill

- O windchill avalia a sensação de arrefecimento causada pelo efeito conjunto da **velocidade do vento** com valores baixos da **temperatura do ar**. **Expressa o efeito de arrefecimento do ar em movimento a diferentes temperaturas** e indica também, de uma forma geral, a quantidade de calorias perdidas pelo corpo.
- Permite a comparação (em °C), entre as condições de frio sentido com as que seriam sentidas num dia sem vento.



(extraído de Silva, 2015)

# Índice Windchill - WCT

$$WCT = 13.12 + 0.6215 ta - 11.37 v^{0.16} + 0.3965 ta v^{0.16}$$

WCT = "wind chill temperature" ou effective "wind" temperature (°C)

ta = temperatura do ar (°C)

v = velocidade do vento(km/h, medido a 10 metros)

Velocidade do vento (aos 10m)		Tabela da temperatura de arrefecimento por efeito do vento							
km/h	m/s	Temperatura Actual (°C)							
calma	calma	10	5	0	-5	-10	-15	-20	-30
		<i>Wind Chill</i>							
5	1.4	9	3	-3	-9	-14	-20	-26	-38
10	2.8	9	3	-3	-9	-15	-21	-27	-39
15	4.2	8	2	-4	-11	-17	-23	-29	-41
20	5.6	7	1	-5	-12	-18	-24	-30	-43
25	6.9	7	1	-6	-12	-19	-25	-32	-44
30	8.3	7	0	-6	-13	-20	-26	-33	-46
35	9.7	6	0	-7	-14	-20	-27	-33	-47
40	11.1	6	-1	-7	-14	-21	-27	-34	-48
45	12.5	6	-1	-8	-15	-21	-28	-35	-48
50	13.9	5	-1	-8	-15	-22	-29	-35	-49
55	15.3	5	-2	-8	-15	-22	-29	-36	-50
60	16.7	5	-2	-9	-16	-23	-30	-36	-50
65	18.1	5	-2	-9	-16	-23	-30	-37	-51
70	19.4	5	-2	-9	-16	-23	-30	-37	-51
75	20.8	5	-3	-10	-17	-24	-31	-38	-52
80	22.2	4	-3	-10	-17	-24	-31	-38	-52

## Limiares definidos em Portugal

Grau de severidade do <i>Wind Chill</i> (sensação de frio)		
0 a -9	Fraco	Ligeiro aumento de desconforto
-10 a -27	moderado	Desconforto, sensação de frio, risco de hipotermia se a exposição ao frio for muito longa
-28 a -39	Severo	Risco de congelamento na pele, risco de hipotermia se a exposição ao frio for longa
-40 a -47	Extremo	As partes do corpo expostas ao frio podem congelar em minutos. Risco sério de hipotermia se a exposição ao frio for longa
-48 a -54	Muito Extremo	<b>PERIGO!!</b> As condições são perigosas, As partes do corpo expostas ao frio podem congelar em menos de 2 minutos.

## Índices racionais (exemplos: PET, UTCI)

- **Baseados no balanço energético.** Traduzem uma descrição dos processos biofísicos que sustentam o estado térmico do corpo humano.
- Por razões práticas, muitos destes índices são **calibrados face a um conjunto de condições «de referência» (ambiente climático, atividade, vestuário), que representam uma situação imaginária na qual só a temperatura do ar pode variar.**
- A temperatura do ar “equivalente” calculada é a que iria exercer o mesmo stress (ou sobrecarga corporal) nas condições «de referência» do que aquelas a que o corpo está atualmente exposto. É uma medida única do ambiente térmico.

## Índices racionais (exemplos: PET, UTCI)

- Devido à complexidade da equação do balanço energético, estes índices, têm de ser calculados com modelos ou programas informáticos específicos, alguns disponíveis gratuitamente, como o BioKlima (<https://www.igipz.pan.pl/BioKlima.html>).
- Em geral, é comum que todos os índices térmicos tenham os mesmos parâmetros de entrada, sendo:
  - (1) *Dois factores termofisiológicos*, ou seja, (i) **metabolismo ou actividade** e (ii) **vestuário**;
  - (2) *numerosos factores meteorológicos*, i.e., (i) **temperatura do ar**, (ii) **humidade do ar**, (iii) **velocidade do vento**, e (iv) **temperatura radiativa média**.

# *Physiological Equivalent Temperature* - **PET**

- Introduzida por Hoppe e Mayer (1987)
- Índice de conforto térmico baseado na modelação do balanço energético do corpo humano. **Tem uma base termofisiológica.**
- Desenvolvido a partir do modelo MEMI (*“Munich Energy Model for Individuals”*)
- A **PET** avalia, numa escala em graus celsius, o efeito da **influência combinada** das **variáveis atmosféricas**, da **produção metabólica** de calor e da **componente fisiológica** no conforto térmico.
- Descreve a **percepção térmica** de um indivíduo.

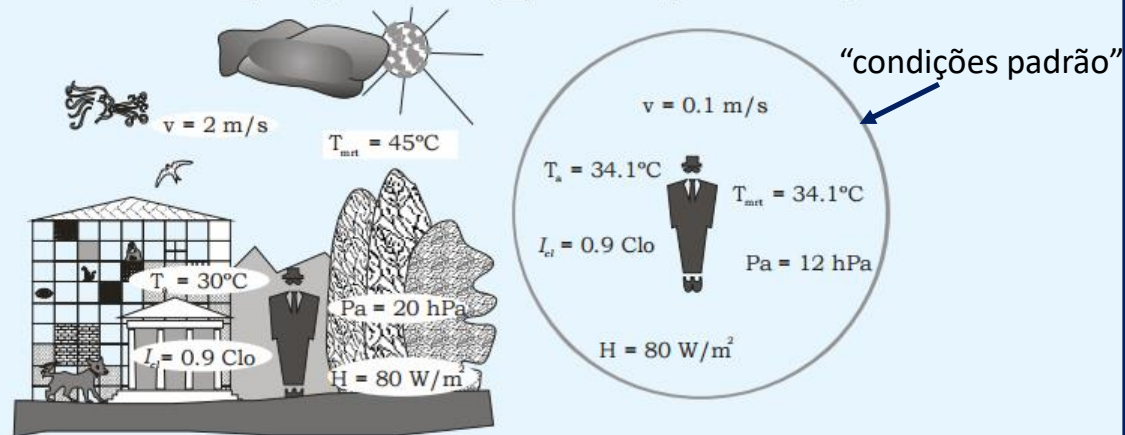
## Physiological Equivalent Temperature - PET

- *“equivale à temperatura do ar à qual, num ambiente interior típico, o balanço térmico do corpo humano é mantido com temperaturas do corpo e pele iguais às das condições que estão a ser avaliadas. O ambiente tipo consiste num ambiente fechado, com determinadas condições padrão ( $T_a = T_{mrt}$ ;  $V = 0,1$  m/s; tensão de vapor igual=12 hPa) em que se verifica a mesma resposta termofisiológica que no ambiente real”*
- <sup>1</sup> A temperatura radiativa média ( $T_{mrt}$ ) é definida como a temperatura uniforme de uma superfície envolvente negra, com a qual o corpo humano tenha as mesmas transferências radiativas que com o ambiente real. A  $T_{mrt}$  permite integrar o conjunto de fluxos radiativos do ambiente (em pequeno e grande comprimentos de onda).



## Physiologically Equivalent Temperature PET

basis: human energy balance model MEMI (Munich Energy Balance Model for Individuals)



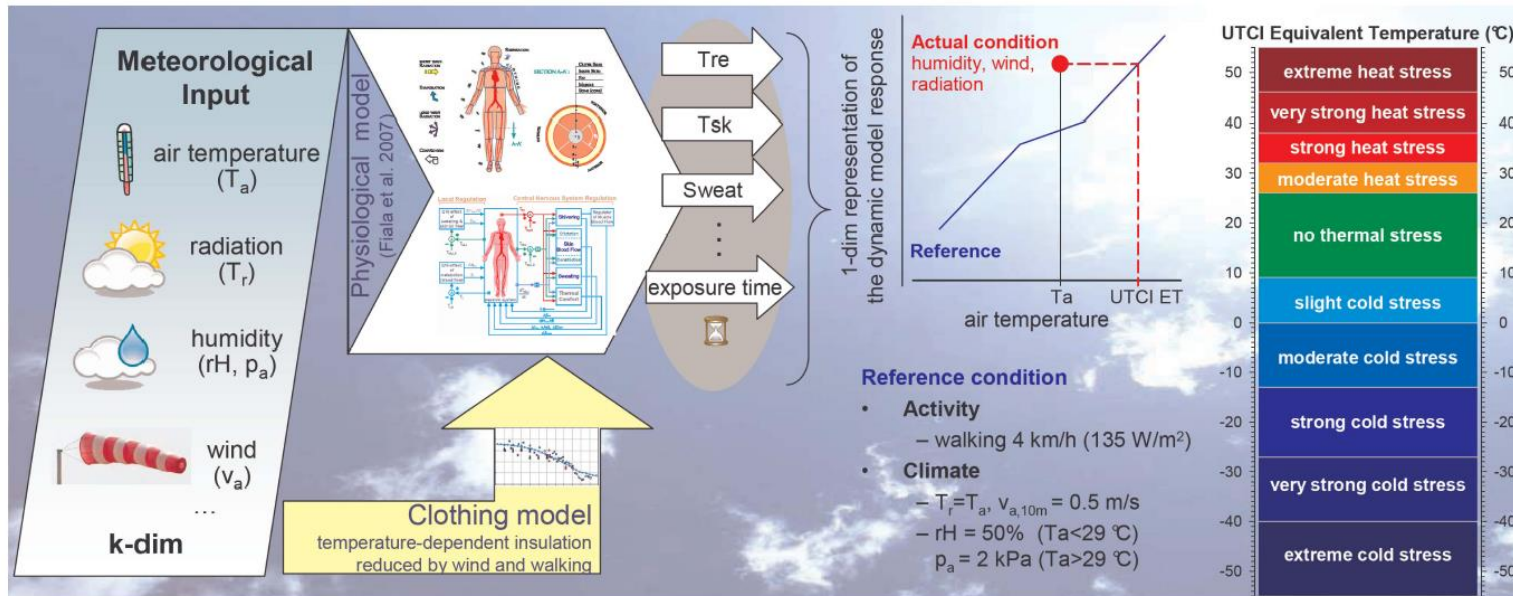
Actual environment with  $PET = 34.1^\circ\text{C}$  and equivalent standard environment (Andrade, 2003)

Matzarakis & Alcoforado (2007)

Um dado valor de PET correspondente a um ambiente térmico real (à esquerda na figura), requer a mesma resposta fisiológica que um ambiente *indoor* padrão, definido por uma temperatura do ar ( $T_a$ ) igual à temperatura radiativa média ( $T_{mrt}$ ), velocidade do vento de  $0,1 \text{ m/s}$  e tensão de vapor de  $12 \text{ hPa}$ .

# UTCI

O “*universal thermal climate index*” (UTCI) é um **índice biometeorológico** criado pela *European Cooperation in Science and Technology (COST) Action 730*, e é baseado nas mais recentes modelações da resposta termofisiológica do corpo humano.



# UTCI

- As **condições de referência** para o cálculo do UTCI, são:
  - Velocidade do vento ( $v$ ) de 0,5 m/s a 10 metros de altura (aproximadamente 0,3 m/s a 1,1 metros);
  - Temperatura radiativa média (TMRT) igual à temperatura do ar;
  - Representa a atividade ( $M$ ) de uma pessoa em movimento com uma velocidade de 4 km/h. Isso equivale a uma taxa de metabolismo de  $135 \text{ W m}^2$ ;
- A temperatura do UTCI para uma dada combinação de vento, radiação, humidade e temperatura do ar é definida como a temperatura do ar na condição de referência que produziria a mesma resposta fisiológica que esses mesmos elementos meteorológicos, relativamente aos quais o índice é calculado.

Heat metrics	Range (°C)	Category	Physiological responses
Universal Thermal Climate Index (UTCI)	Above 46	Extreme heat stress	Increase in rectal temperature time gradient Steep decrease in total net heat loss Averaged sweat rate $>650 \text{ g}\cdot\text{hr}^{-1}$ , steep increase
	38–46	Very strong heat stress	Low core to skin temperature gradient Increase in rectal temperature at 30 min
	32–38	Strong heat stress	Averaged sweat rate $>200 \text{ g}\cdot\text{hr}^{-1}$ Increase in rectal temperature at 120 min Instantaneous change in skin temperature
	26–32	Moderate heat stress	Change of slopes in sweat rate, rectal and skin (mean, face, hand) temperature Occurrence of sweating at 30 min Steep increase in skin wettedness
	9–26	No thermal stress	Averaged sweat rate $>100 \text{ g}\cdot\text{hr}^{-1}$ Plateau in rectal temperature time gradient
	0–9	Slight cold stress	Local minimum of hand skin temperature
	–13 to 0	Moderate cold stress	Vasoconstriction Face skin temperature at 30 min $< 15^\circ\text{C}$ (pain)
	–13 to –27	Strong cold stress	Numbness Increase in core to skin temperature gradient
	–27 to –40	Very strong cold stress	Frostbite, numbness, shivering Steeper decrease in rectal temperature
	Below –40	Extreme cold stress	Frostbite Decrease in rectal temperature time gradient

(in Di Napoli *et al.*, 2022)

Cálculo do UTCI baseado no modelo Fiala pode ser obtido aplicando uma função polinomial de 6ª ordem:

$$UTCI(Ta, Tr, va, pa) = Ta + Offset(Ta, Tr, va, pa)$$

Os procedimentos de cálculo estão detalhados em:

Bröde P, Fiala D, Błażejczyk K, Holmér I, Jendritzky G, Kampmann B, Tinz B, Havenith G. Deriving the operational procedure for the Universal Thermal Climate Index (UTCI). *Int J Biometeorol.* 2012 May;56(3):481-94. doi: 10.1007/s00484-011-0454-1. Epub 2011 May 31. PMID: 21626294.

- O UTCI pode ser calculado em <http://www.utci.org/>
- ou usando o **software BioKlima** (gratuito):

BioKlima - Universal tool for bioclimatic and thermophysiological studies

<https://www.igipz.pan.pl/bioklima.html>

(Department of Geoecology and Climatology, Inst. Geog. e Organização Espacial, Varsóvia, Polónia)

- UTCI: dataset disponível no COPERNICUS:
  - Global, horário, desde 1979;
  - 0.25° x 0.25° (ERA5)
  - <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/derived-utci-historical?tab=overview>

### 3. Índices de extremos de temperatura



# Ondas de calor / frio

- Efeitos na saúde: fatores de morbilidade e de mortalidade
- Impactos sócio-económicos
  - Agricultura, Pecuária, Silvicultura
  - Consumos energéticos
  - Turismo
  - Produção industrial
  - Atividade comercial
  - ...
- Impactos ambientais



# Ondas de calor / frio: identificação e monitorização

## índices

- As OC (e OF) são descritas por uma gama muito ampla de definições, nas quais um evento de calor (ou frio) é representado por um **número de dias consecutivos que pode variar de dois a seis ou até mais dias, com registos de temperatura máxima do ar/TX (ou temp. mínima/TN), acima (abaixo) de um certo limiar fixo ou relativo.**
- Algumas destas definições são boas preditoras de eventos extremos de calor ou frio, mas podem ser imprecisas em termos da sua relação com efeitos potenciais na morbilidade e mortalidade, ou com impactos em setores específicos.

# Aspectos a valorizar na escolha de índices de ondas de calor / frio

- Uso de **limiar relativo** de significância (baseado no clima local)
- Considerar a ocorrência de condições de extremas de calor/frio em **dias consecutivos** (embora dias isolados também sejam importantes)
- Cálculo baseado em parâmetros da **temperatura** (pelo menos)
- Permitir a avaliação dos **vários aspectos dos eventos térmicos extremos** (intensidade, frequência, duração, timing, extensão especial)
- **Simplicidade**, facilidade de cálculo
- Associação com **impactos** (sobretudo, verificação de relação com morbidade e/ou mortalidade)

# EHF

## Excessive Heat Factor

desenvolvido pela Agência  
Australiana de Meteorologia

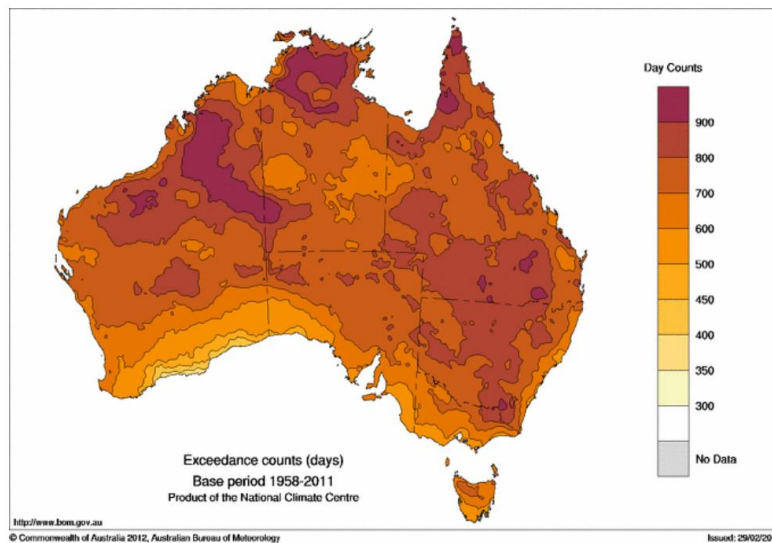


Figure 15: Number of positive *EHF* periods in the period 1958-2011.

<http://www.bom.gov.au/australia/heatwave/>



The Centre for Australian Weather and Climate Research  
A partnership between the Bureau of Meteorology and CSIRO



Defining heatwaves: heatwave defined as a heat-impact event servicing all community and business sectors in Australia

John Nairn and Robert Fawcett

CAWCR Technical Report No. 060



[www.cawcr.gov.au](http://www.cawcr.gov.au)

Nairn & Fawcett (2013)

[http://www.bom.gov.au/research/publications/cawcreports/CTR\\_060.pdf](http://www.bom.gov.au/research/publications/cawcreports/CTR_060.pdf)

- Fator de excesso de calor (EHF), criado para a **monitorização e previsão** de ondas de calor na Austrália.
- O índice é baseado na **média da temperatura média diária (DMT) de três dias** e procura a captar a **intensidade da onda de calor em função dos seus efeitos potenciais na saúde humana**.
- O cálculo do índice é feito **colocando-o no seu contexto climatológico, de forma a poder avaliar a severidade da onda de calor**.
- Toma em conta o papel da **aclimatação**.

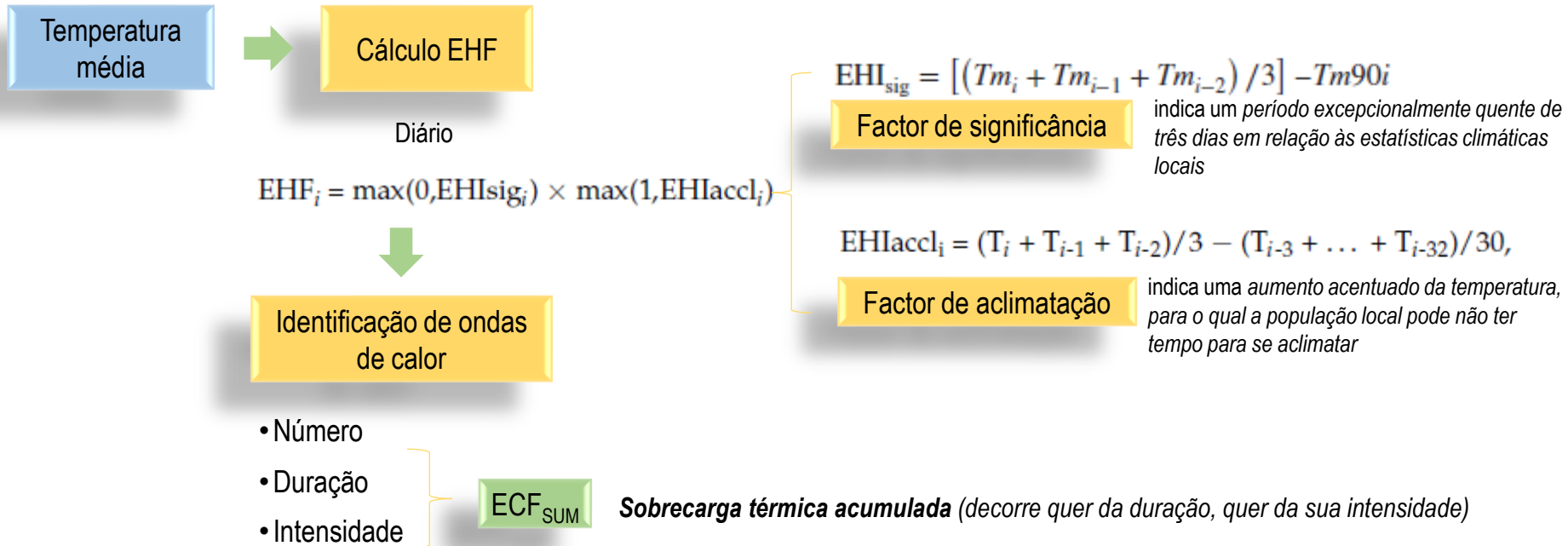
# Aclimatação (ao calor)

- A aclimatação é uma resposta adaptativa a um ambiente quente em que um indivíduo “aprende” a tolerar melhor a exposição ao calor excessivo (Knochel e Reed, 1994; Guyton e Hall, 2000; Kinney et al., 2008).
- Esta adaptação pode levar de **duas a seis semanas** e inclui ajuste dos sistemas cardiovascular, endócrino e renal.

(Fonte: WMO-No. 1142)

## Índice Excess Heat Factor (EHF)

**Onda de Calor:** período mínimo de 3 dias consecutivos com  $EHF > 0$



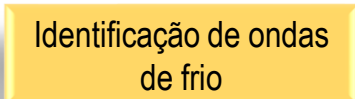
## Índice Cold Heat Factor (ECF)

**Onda de frio:** período mínimo de 3 dias consecutivos com  $ECF > 0$



Diário

$$ECF = -ECI(\text{sig.}) \times \min(-1, ECI(\text{accl.}))$$



- Número
- Duração
- Intensidade

$ECF_{SUM}$

**Sobrecarga de frio acumulada** (decorre quer da duração, quer da sua intensidade)

$$ECI(\text{sig.}) = [(TM_i + TM_{i-1} + TM_{i-2})/3] - TM05$$

**Factor de significância**

indica um período excepcionalmente frio de três dias em relação às estatísticas climáticas locais

$$ECI(\text{accl.}) = [(TM_i + TM_{i-1} + TM_{i-2})/3] - [(TM_{i-3} + \dots + TM_{i-32})/30]$$

**Factor de aclimação**

indica um diminuição acentuada da temperatura, para o qual a população local pode não ter tempo para se aclimatar

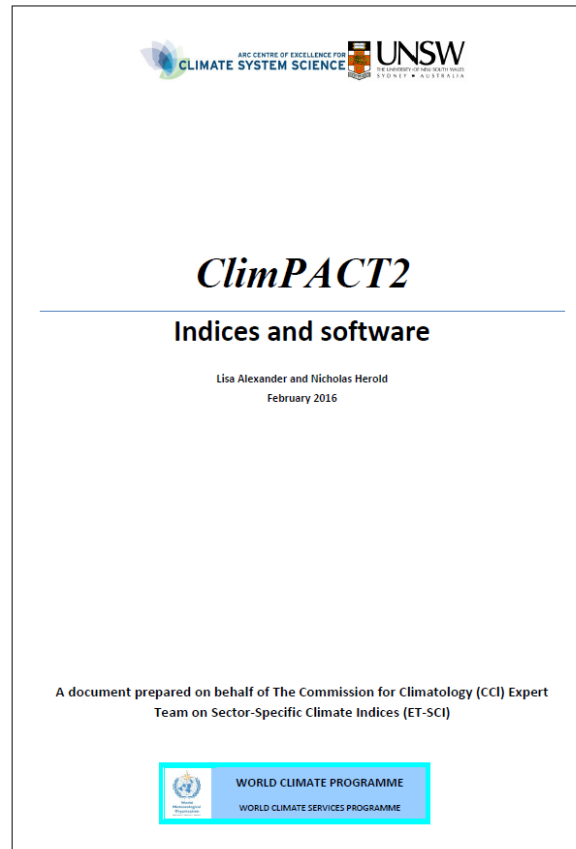
# EHF / ECF – indicadores derivados

ID	Heat Wave Aspect	Definition	Unit
<b>HWN</b>	Heat wave number	The annual number of summer (May–Sep) heat waves where conditions persist for at least 3 consecutive days with positive EHF values	Number of events
<b>HWD</b>	Heat wave duration	The length of the longest summer (May–Sep) heat wave where conditions persist for at least 3 consecutive days with positive EHF values	days
<b>HWF</b>	Heat wave day frequency	The total number of days each summer (May–Sep) that contribute to all heat waves where conditions persist for at least 3 consecutive days with positive EHF values	days
<b>HWA</b>	Heat wave amplitude	The hottest day of the hottest summer (May–Sep) heat wave where conditions persist for at least 3 consecutive days with positive EHF values	°C <sup>2</sup>
<b>HWM</b>	Heat wave mean	Average magnitude of all summer (May–Sep) heat wave days where conditions persist for at least 3 consecutive days with positive EHF values	°C <sup>2</sup>
<b>HWday</b>	Heat wave days	The annual number of all summer (May–Sep) heat wave days with positive EHF values	days
<b>HWsev</b>	Heat wave severe days	The annual number of all severe summer (May–Sep) heat wave days with positive EHF values above the station's severe EHF threshold at EHF <sub>85</sub> (85th percentile of the station's distribution of positive EHF values)	days
<b>HWex</b>	Heat wave extreme days	The annual number of all extreme summer (May–Sep) heat wave days with positive EHF values that at least double the station's severe EHF threshold at EHF <sub>85</sub> (85th percentile of the station's distribution of positive EHF values)	days



# CLIMPACT2

- Interface gráfico em R
- Criado pela  
Commission for Climatology (CCI)  
Expert Team on Sector-Specific  
Climate Indices (ET-SCI)



- Download em: <https://github.com/ARCCSS-extremes/climpact2>
- Versão online do Climapct2 em: <https://ccrc-extremes.shinyapps.io/climpact/>

## Algumas referências e weblinks



- Andrade, H (1998) – O desconforto térmico estival em Lisboa. Uma abordagem bioclimática. *Finisterra – Revista Portuguesa de Geografia*, Lisboa, XXXIII (66): 41-58.
- Casimiro E, Calheiros JSantos FD & Kovats S (2006) National Assessment of Human Health Effects of Climate Change in Portugal: Approach and Key Findings, *Environ Health Perspect.* 2006 Dec;114(12):1950-6.
- DGS (2016) *Plano de Contingência para Temperaturas Extremas Adversas - Módulo Inverno*. Disponível em [www.dgs.pt/](http://www.dgs.pt/)
- DGS (2016) *Saúde sazonal: Verão e saúde. Plano de contingência para as temperaturas extremas adversas*. 17pp.
- Di Napoli, C., Allen, T., Méndez-Lázaro, P. A., & Pappenberger, F. (2023). *Heat stress in the Caribbean: Climatology, drivers, and trends of human biometeorology indices*. *International Journal of Climatology*, 43( 1), 405– 425. <https://doi.org/10.1002/joc.7774>
- Graham H, White PC. (2016) Social determinants and lifestyles: integrating environmental and public health perspectives. *Public Health*. Dec;141:270-278. doi: 10.1016/j.puhe.2016.09.019.
- Hassi J (2005) *Cold extremes and impacts on health*. Chapter 6 in Kirch W, Menne B, Bertollini R (Eds) (2005) *Extreme Weather Events and Public Health Responses*. Springer, World Health Organization.
- Kirch W, Menne B, Bertollini R (Eds) (2005) *Extreme Weather Events and Public Health Responses*. Springer, World Health Organization.
- 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.
- Kovats R, Ebi K (2006) Heatwaves and public health in Europe. *Eur J Public Health* 16(6): 592–599
- Oke T, Mills G, Christen A, Voogt, J. (2017). *Urban Climates*. Cambridge University Press. doi: 10.1017/9781139016476.

## Algumas referências e *weblinks*

Matzarakis A, Alcoforado MJ (2007) *Importance of thermal comfort and bioclimate for tourism*. Climate Change and Tourism, 7-8 september 2007 Faculty of Forest and Environmental Sciences, Freiburg, Germany. apresentação de conferência (acedida em 10.10.2016) em [http://www.ceg.ul.pt/urbklm/Alcoforado\\_bioclimate\\_tourism.pdf](http://www.ceg.ul.pt/urbklm/Alcoforado_bioclimate_tourism.pdf)

Matzarakis, A., Amelung, B. (2008) *Physiological Equivalent Temperature as Indicator for Impacts of Climate Change on Thermal Comfort of Humans*. In: Thomson M.C., Garcia-Herrera R., Beniston M. (eds) *Seasonal Forecasts, Climatic Change and Human Health*. Advances in Global Change Research, vol 30. Springer, Dordrecht.

Monteiro A, Carvalho V, Gois J, Sousa C (2013) - Use of “Cold Spell” indices to quantify excess chronic obstructive pulmonary disease (COPD) morbidity during winter (November to March 2000–2007): case study in Porto. *International Journal of Biometeorology* (2013) 57:857–870

Nairn, J., Fawcett, R.(2015) The Excess Heat Factor: A Metric for Heatwave Intensity and Its Use in Classifying Heatwave Severity. *Environment Research and Public Health*. Vol.12. pp. 227-253.

Perkins, S., Alexander, L. (2013) *On the measurement of heat waves*. Centre of Excellence for Climate System Science, Climate Change Research Centre, The University of New South Wales, Sydney, Australia.

Santos FD, Miranda P (eds.) (2006) *Alterações Climáticas em Portuga I, Cenários , Impactos e Medidas de Adaptação*. Projecto SIAM II, Gradiva, Lisboa

Silva, S (2015) - *Modelação do efeito do frio extremo na saúde da população de Lisboa: contributos para um sistema de vigilância e alerta*. Tese de Mestrado em Bioestatística, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa.

WHO (2014) How cold weather affects health. Disponível em <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/Climate-change/news/news/2013/02/how-cold-weather-affects-health>, 2014.