

Bioclimatologia humana – 13.03.2023

O calor extremo e os seus efeitos na saúde humana (II)

1. Índices de stress térmico. Vantagens e limitações de alguns exemplos de índices mais utilizados em Bioclimatologia humana.

Índices simples de Stress Térmico

Índices simples de Stress Térmico

- Segundo Jendritzky & Dear (2009), mais de 100 índices de stress térmico foram desenvolvidos nos últimos 150 anos, a maioria dos quais baseados apenas em dois parâmetros. Tipicamente:
 - No caso do stress por calor, combinações de T_a e diferentes medidas de humidade;
 - No caso do stress por frio, combinações de T_a e de v (velocidade do vento)
- Estes índices, embora fáceis de calcular e de aplicar na previsão, apresentam importantes limitações...

Índices simples de Stress Térmico

- negligenciam a importância de fluxos ou variáveis significativas no balanço energético corpo humano/atmosfera;
- não cumprem o requisito essencial de que a cada valor do índice deverá corresponder um único estado de sobrecarga termofisiológica (*strain*), independentemente da combinação dos valores meteorológicos de *input*;
- têm uma utilidade limitada, já que os seus resultados, muitas vezes, não são comparáveis, e os **limiares de aviso** (de segurança para a saúde humana) **têm uma natureza arbitrária**.

(Jendritsky & Dear, 2009)



Index	Acronym	Equation
Heat Index	HI	$HI = -42.379 + 2.04901523(T_f) + 10.14333127(RH) - 0.22475541(T_f)(RH) - (6.83783 \times 10^{-3})(T_f^2) - (5.481717 \times 10^{-2})(RH^2) + (1.22874 \times 10^{-3})(T_f^2)(RH) + (8.5282 \times 10^{-4})(T_f)(RH^2) - (1.99 \times 10^{-6})(T_f^2)(RH^2)$ where T_f is the air temperature [°F] and RH is the relative humidity (expressed as a whole number)
Humidex	Humidex	$\text{Humidex} = (\text{air temperature}) + h$ $h = (0.5555)(e - 10.0)$ $e = 6.11 \times \exp\left(5417.7530 \times \left(\left(\frac{1}{273.16}\right) - \left(\frac{1}{\text{dewpoint}}\right)\right)\right)$
Net effective temperature	NET	$\text{NET} = 37 - \frac{37 - T}{0.68 - 0.0014(RH) + 1/(1.76 + 1.4v^{0.75})} - 0.29T(1 - 0.01(RH))$ where T is the air temperature [°C], v is the wind speed [m/s], and RH is the relative humidity [%]
Wet-bulb globe temperature	WBGT	$\text{WBGT} = 0.567 \times T_a + 0.393 \times e + 3.94$ where T_a is the air temperature (°C) and e is the water-vapour pressure (hPa)
Apparent temperature	AT	$\text{AT} = T_a + 0.348 \times e - 0.70 \times \text{ws} + 0.70 \times \frac{Q}{\text{ws} + 10} - 4.25$ $\text{AT} = T_a + 0.33 \times e - 0.70 \times \text{ws} - 4.00$ where T_a is the dry-bulb temperature (°C), e is the water-vapour pressure (hPa), ws is the wind speed (m/s) at an elevation of 10 m, and Q is the net radiation absorbed per unit area of body surface (W/m²)
Excess heat index	EHI	$\text{EHI} = \frac{T_i + T_{i+1} + T_{i+2}}{3} - T_{95}$ where T_{95} is the 95th percentile of daily temperature (T_i) for a climate reference period, calculated using all days of the year

Exemplos de índices biometeorológicos simples mais usados

(Pigliautile *et al.*, 2022)

Heat index

(Steadman, 1979)

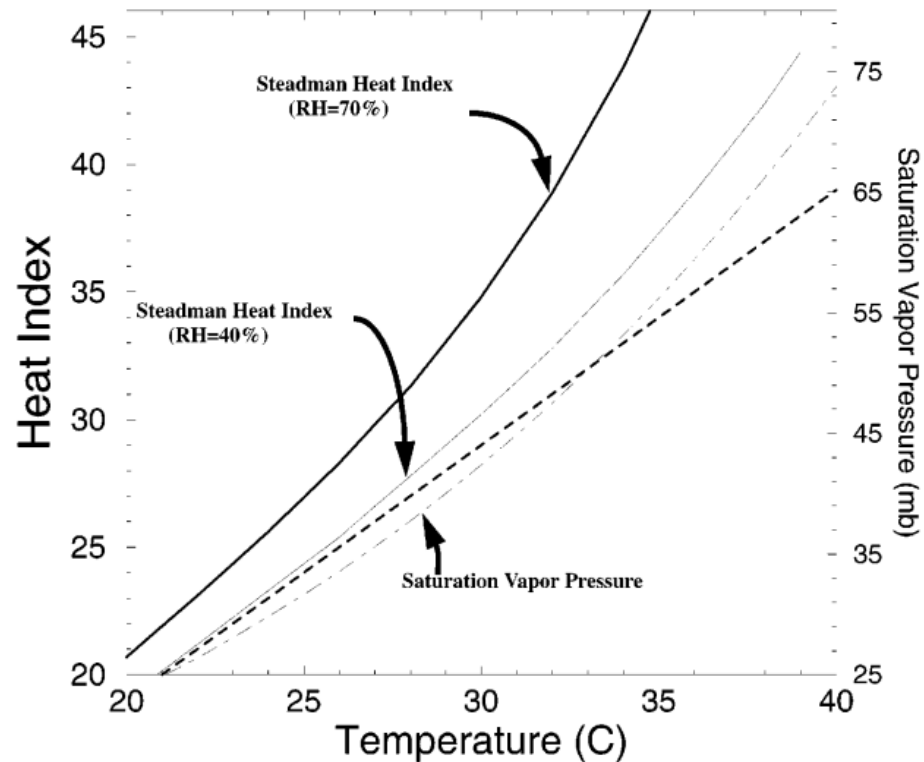


Figure 1. Dependence of Steadman Heat Index on air temperature and relative humidity. The two solid lines denote Heat Index as a function of temperature for two cases with differing levels of (constant) relative humidity. The dashed line is used as a reference with slope of 1. The differences between either solid line and the dashed line denotes the difference between the Steadman Heat Index and the temperature (this difference is referred to later in the text as the 'moisture-induced stress'). For reference, the dot-dashed line shows the dependence of saturation vapor pressure (right ordinate) on temperature.

(Delworth *et al.*, 1999)

B	Relative humidity (%)										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Temperature (°C)	50	42	48	–	–	–	–	–	–	–	–
	49	42	47	–	–	–	–	–	–	–	–
	48	41	45	53	–	–	–	–	–	–	–
	47	40	44	51	–	–	–	–	–	–	–
	46	39	43	49	–	–	–	–	–	–	–
	45	38	42	47	–	–	–	–	–	–	–
	44	38	41	45	52	–	–	–	–	–	–
	43	37	40	44	49	–	–	–	–	–	–
	42	36	39	42	47	–	–	–	–	–	–
	41	35	38	41	45	–	–	–	–	–	–
	40	35	37	40	43	49	–	–	–	–	–
	39	34	36	38	41	46	–	–	–	–	–
	38	33	35	37	40	44	49	–	–	–	–
	37	32	34	36	38	41	46	–	–	–	–
	36	32	33	35	37	39	43	49	–	–	–
	35	31	32	33	35	37	40	45	51	–	–
	34	30	31	32	34	36	38	42	47	–	–
	33	29	30	31	33	34	36	39	43	49	–
	32	29	29	30	31	33	35	37	40	44	51
	31	28	29	29	30	31	33	35	37	40	45
	30	27	28	28	29	30	31	33	35	37	40
	29	26	27	27	28	29	30	31	33	35	37
	28	26	26	27	27	28	29	29	31	32	34
	27	25	25	26	26	27	27	28	29	30	31
	26	24	24	25	25	26	26	27	27	28	29
	25	22	23	24	24	24	25	25	26	27	28
	24	21	22	22	23	23	24	25	25	26	26
	23	20	20	21	22	22	23	23	24	24	25
	22	19	19	20	20	21	21	22	22	23	24
	21	18	18	19	19	20	20	21	21	22	23
	20	16	17	17	18	19	19	20	20	21	21

B		Dew point temperature (°C)															
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
Temperature (°C)	50	45	45	46	46	47	47	48	50	52	–	–	–	–	–	–	–
	48	43	44	44	45	45	45	46	48	49	51	–	–	–	–	–	–
	46	42	42	42	43	44	44	45	46	47	49	51	–	–	–	–	–
	44	40	40	41	41	42	42	43	44	45	47	49	52	–	–	–	–
	42	38	38	39	39	40	40	41	42	43	45	47	49	52	–	–	–
	40	36	37	37	38	38	39	39	40	41	43	45	47	49	52	–	–
	38	35	35	35	36	36	37	37	38	39	41	42	44	46	49	52	–
	36	33	33	34	34	34	35	35	36	37	38	39	41	43	45	48	–
	34	32	32	32	33	33	33	33	34	35	36	37	38	40	42	45	–
	32	30	30	30	31	31	31	31	32	33	33	34	36	37	39	41	50
	30	28	28	28	29	29	29	30	30	31	31	32	33	35	36	38	45
	28	26	27	27	27	27	27	28	28	29	29	30	31	32	33	36	–
	26	24	25	25	25	25	25	26	26	26	27	27	28	29	30	–	–
	24	22	23	23	23	23	24	24	24	24	25	25	26	26	–	–	–
	22	20	20	21	21	21	22	22	22	22	23	23	24	–	–	–	–
	20	18	18	18	19	19	19	20	20	21	21	21	–	–	–	–	–

(Anderson *et al.*, 2013)

Heat metrics	Range (°C)	Category	Physiological responses
Heat Index (HI)	Below 26.7	No caution	None
	26.7–32.2	Caution	Fatigue possible with prolonged exposure and/or physical activity
	32.2–39.4	Extreme caution	Heat stroke, heat cramps, or heat exhaustion possible with prolonged exposure and/or physical activity
	39.4–51.1	Danger	Heat cramps or heat exhaustion likely, and heat stroke possible with prolonged exposure and/or physical activity
	Above 51.1	Extreme danger	Heat stroke highly likely

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

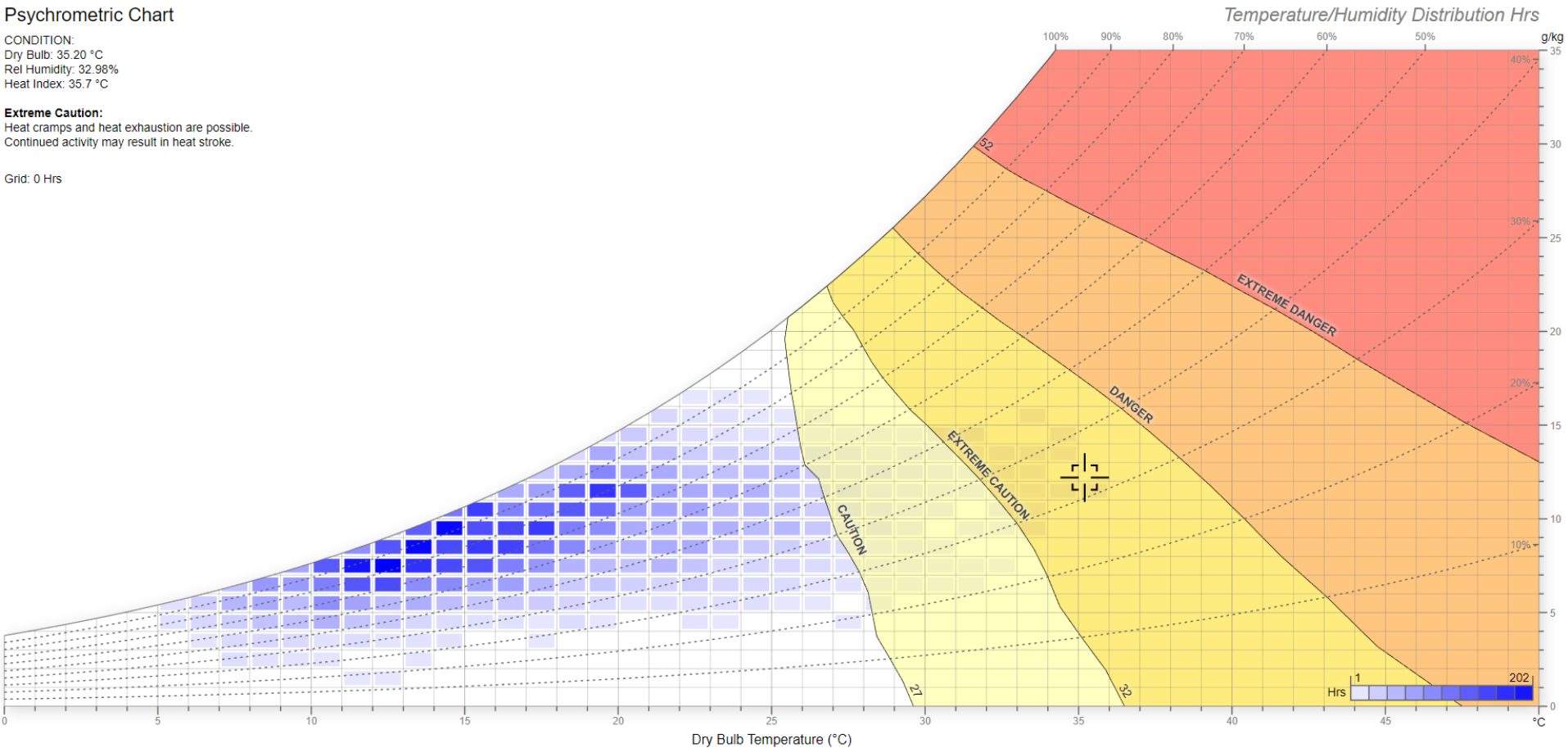
Lisboa/Geofísico (2007-2021)

Psychrometric Chart

CONDITION:
Dry Bulb: 35.20 °C
Rel Humidity: 32.98%
Heat Index: 35.7 °C

Extreme Caution:
Heat cramps and heat exhaustion are possible.
Continued activity may result in heat stroke.

Grid: 0 Hrs



Aplicação “Psychrometric Chart”, em <http://andrewmarsh.com/>

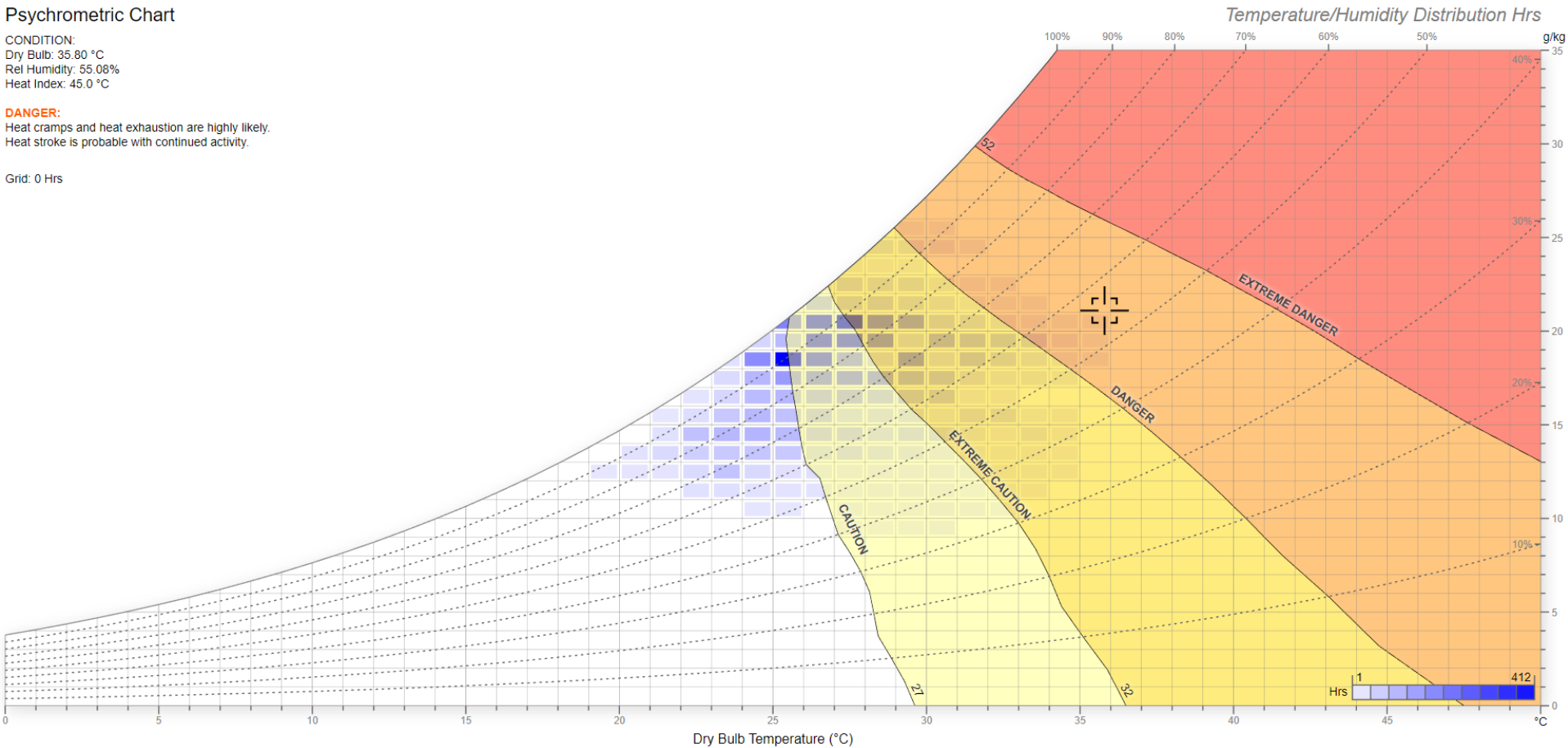
Goa/Dabolim (2007-2021)

Psychrometric Chart

CONDITION:
Dry Bulb: 35.80 °C
Rel Humidity: 55.08%
Heat Index: 45.0 °C

DANGER:
Heat cramps and heat exhaustion are highly likely.
Heat stroke is probable with continued activity.

Grid: 0 Hrs



Aplicação “Psychrometric Chart”, em <http://andrewmarsh.com/>

Índices racionais

Índices racionais

- Muitos índices racionais aplicam o **conceito de um ambiente padrão ou de referência**.
- Estes índices térmicos calculam a temperatura do ar que resultaria no "**efeito equivalente**" para uma pessoa como a do ambiente real. Também chamadas de temperaturas equivalentes, têm a mesma unidade que a temperatura do ar e podem, portanto, ser mais facilmente compreendidas pelos leigos.

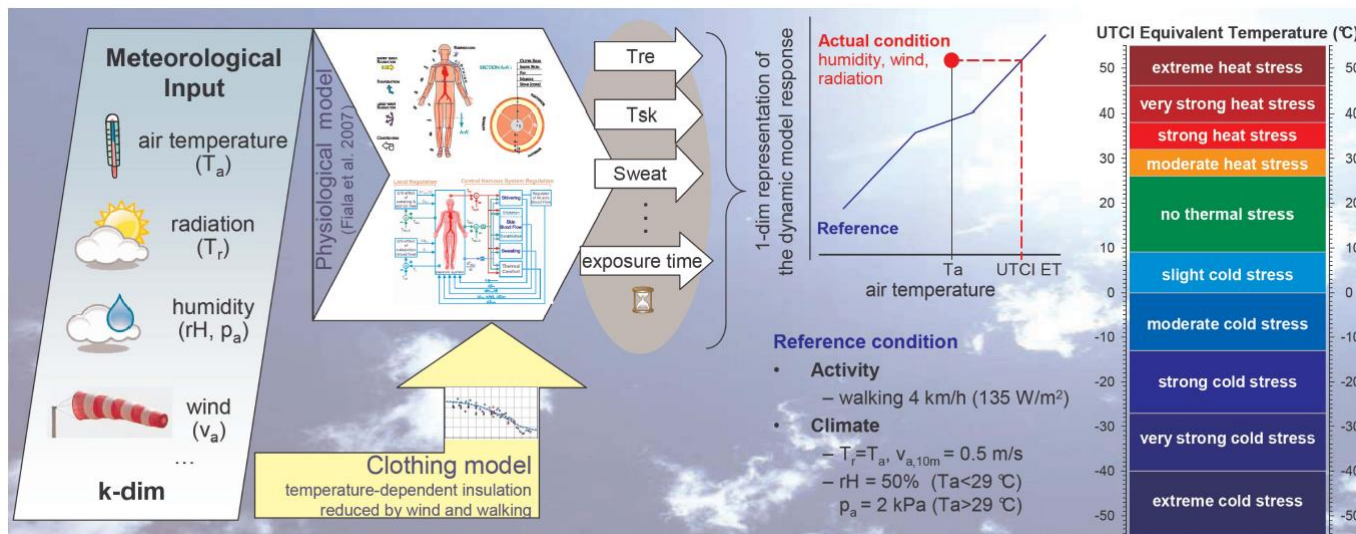
Índices racionais

- **Standard Effective Temperature (*SET*):** a temperatura equivalente de um ambiente isotérmico a 50% de humidade onde o sujeito apresenta o mesmo stress térmico (isto é, temperatura da pele e tensão termorreguladora (isto é, humidade na pele) que no ambiente real;
- **Predicted Mean Vote (*PMV*):** sensação térmica percebida calculada assumindo que a mesma depende da tensão fisiológica imposta ao corpo humano pelo ambiente circundante;
- **Temperatura Fisiológica Equivalente (*PET*):** a temperatura equivalente de um ambiente isotérmico de referência caracterizado por uma pressão de vapor de água de 12 hPa e um vento fraco de 0,1 m/s, onde a temperatura corporal da pele de uma pessoa de referência são as mesmas das condições a serem avaliadas;

UTCI – Universal Thermal Climate Index

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 (TMR) 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 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)

- 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)

- COPERNICUS:
 - Global, horário, desde 1979;
 - 0.25° x 0.25° (ERA5)
 - <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/derived-utci-historical?tab=overview>

Referências:

Anderson GB, Bell ML, Peng RD. Methods to calculate the heat index as an exposure metric in environmental health research. *Environ Health Perspect.* 2013 Oct;121(10):1111-9. doi: 10.1289/ehp.1206273. Epub 2013 Aug 9. PMID: 23934704; PMCID: PMC3801457.

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.

Delworth, Thomas & Mahlman, J. & Knutson, Thomas. (1999). Changes in Heat Index Associated with CO2Induced Global Warming. *Climatic Change.* 43. 369-386. 10.1023/A:1005463917086.

NOAA NWS. (2023) What is the heat index?. Available at: <https://www.weather.gov/ama/heatindex> [acedido em março 2023].

Pigliautile, Ilaria & Jacoby Cureau, Roberta & Pisello, Anna Laura. (2022). Human Adaptation to Higher Ambient Temperature. 10.1007/978-981-19-4707-0_5.

Steadman, R.G. 1979a. The assessment of sultriness, Part I: a temperature-humidity index based on human physiology and clothing science. *J. Appl. Meteor.*, **18**, 861-873.