

# Temperatura

Fernando Gonçalves Amaral

Programa de Pós-Graduação  
em Engenharia de Produção - UFRGS

## Posição do problema

### Queixas das condições térmicas de trabalho

- siderurgia
- outros metais
- minas
- produção de vidros e cristais
- papel, cerâmica, alimentar

**Finalidade:** prescrições mínimas de segurança e saúde no trabalho

## Equilíbrio térmico

### ■ Condições normais de vida

$t \cong 37^{\circ}\text{C}$  é função do equilíbrio entre:

- a produção de calor no interior do corpo
- as perdas de calor com relação ao meio-ambiente

**Equilíbrio térmico**

## Equação do Equilíbrio Térmico

- Equação utilizada para designar a soma algébrica entre os ganhos e perdas de calor

$$H = C_{res} + E_{res} + K + C + R + E$$

- ⊙  $H$  = produção de calor interno do corpo
- ⊙  $C_{res} \pm E_{res}$  = trocas de calor em nível das vias respiratórias
- ⊙  $K$  = condução (fraca em meio industrial - mãos e pés)
- ⊙  $C$  = convecção
- ⊙  $R$  = radiação
- ⊙  $E$  = evaporação

- **Condução:** transmissão de calor entre a pele e as roupas, sapatos, pontos de apoio, ferramentas manipuladas ... (normalmente não é considerada)
- **Convecção:** transferência de calor entre a pele e o ar que a envolve (se  $t_{sk} > t_{ar}$ , a pele se resfria)
- **Radiação:** pode ser emitida pelo corpo (30 a  $36^{\circ}\text{C}$  - infravermelha) ou pelas superfícies vizinhas
- **Evaporação:** perda de calor pela evaporação do suor (ar seco,  $\uparrow$  velocidade do ar e vestimenta permável ao vapor aumentam o fenômeno)

## Produção Interna de Calor

- **Metabolismo:** é o gasto energético necessário para o funcionamento dos diferentes órgãos e da atividade muscular

- ⊙ Sujeito no repouso: a totalidade desta energia é transformada em calor

$$H = M \quad (\text{metabolismo em Watts ou Watts.m}^{-2})$$

$$1,163 \text{ Wh} = 1 \text{ kcal} = 4186,8 \text{ J}$$

- ⊙ Sujeito no trabalho: uma fração (ligada a atividade) pode ser transformada em trabalho mecânico

$$H = M - W$$

Trabalho mecânico produzido

## Trocas de calor com o ambiente

- **C = convecção (pele e o ar)**  
 $f = (t_a, ^\circ\text{C}) ; (v_a, \text{ms}^{-1}) ; (I_{cl}, \text{clo})$
- **R = radiação (pele e o ambiente)**  
 $f = (\text{superfície corporal}, I_{cl}) ;$   
 $(\bar{t}_r, \text{distância fontes de calor})$
- **E = evaporação (evaporação do suor)**  
 $f = (\text{ar seco}, v_{ar} \uparrow, \text{vestimenta permeável})$
- $E_{res} = 0,0173 M (P_a - 5,87)$  [FANGER]

- $E_{\text{cutânea}} f = (\text{secreção glândulas sudoríparas, perspiração insensível ou difusão epidérmica})$   
 varia de 7 a 15% (homem) ao repouso

**Em geral** : se a pele não está totalmente recoberta de suor

$A_E$  = soma das superfícies elementares molhadas

$A_D$  = superfície cutânea total

$$\frac{A_E}{A_D} = \varpi \quad \text{fração de pele molhada}$$

$$E = \varpi E_{\text{max}}$$

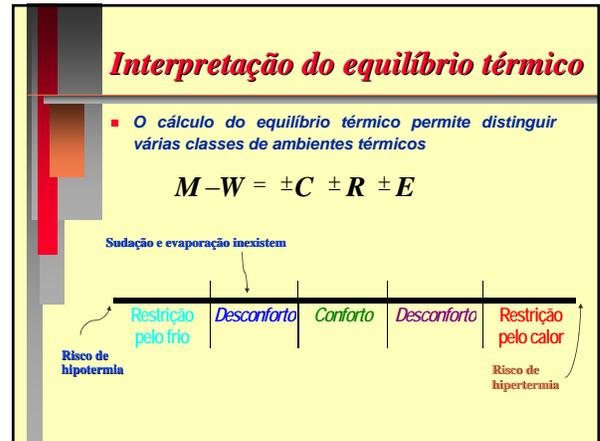
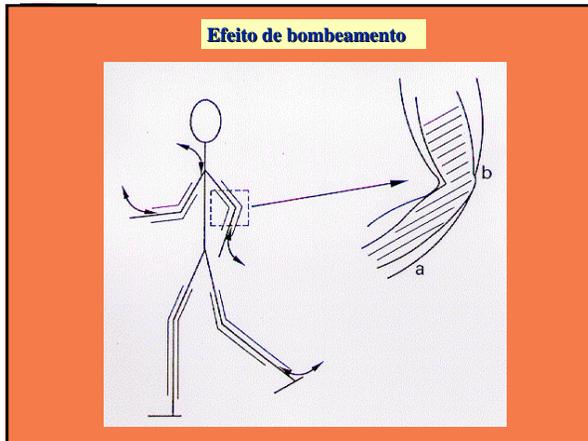
## Isolamento térmico vestimentar

- As vestimentas intervêm por :
  - seu isolamento térmico, influencia C e R
  - seu coeficiente de absorção, determina a troca por R
  - sua permeabilidade ao vapor
- **Clo** = isolamento vestimentar necessário para manter o equilíbrio térmico de um sujeito ao repouso exposto ao ar calmo ( $v_a = 0,1 \text{ ms}^{-1}$ ) a uma temperatura de 21°C
- 1 clo = traje auto-esporte (camisa, gravata, calça, terno, ...)

Retirada de amianto



Siderurgia



As fronteiras entre estas zonas podem simplesmente ser fixadas, pois dependem de seis fatores:

- 4 parâmetros climáticos:  $t_a$ ,  $HR$ ,  $V_a$ ,  $t_r$
- características térmicas vestimentares:  $I_{cl}$
- metabolismo e o trabalho externo fornecido:  $M - W$

**Avaliação da produção interna de calor**

- Avaliação do metabolismo:
  - consumo de oxigênio (direto)
  - FC (indireto)
  - decomposição de movimentos efetuados durante o trabalho (indireto)

**Análise por decomposição da tarefa:**

Decomposição por observação e cronometragem em movimentos ou esforços elementares.

Metabolismo calculado para cada fase, pela soma de:

- metabolismo basal: 70 W ( ) 80 W ( )
- um suplemento basal ligado a posição do corpo: sentado, em pé, caminhada, ...
- um suplemento ligado ao movimento relativo dos membros do corpo e a intensidade do esforço (leve, médio, forte)

precisão:  $f$  [analista, técnica de medição, natureza da tarefa (repetições cíclicas)]  $\pm 15\%$

Ideal para postos fixos sem deslocamentos e transportes de carga outros casos - ANALOGIA

**Aumentos de metabolismo segundo a importância dos grupos musculares solicitados e intensidade do esforço fornecido**

	Valores médios (Watts)	Intervalo (Watts)
<b>Trabalho manual</b>		
leve (escrever)	27	14 - 84
médio	54	
penoso (datilografar)	72	
<b>Trabalho com um braço</b>		
leve	63	49 - 175
médio	99	
penoso	135	
<b>Trabalho com dois braços</b>		
leve	117	70 - 245
médio	153	
penoso	169	
<b>Trabalho com o corpo</b>		
leve	225	175 - 1050
médio	342	
penoso	504	

**ANALOGIA COM UMA ATIVIDADE SIMILAR**

ISO 8996 - Produção interna de calor e a componente  $V_{ar}$  ligada ao metabolismo e aos movimentos dos segmentos corporais.

**Produção interna de calor (M-W) e a componente da velocidade do ar devido a atividade ( $V_M$ ) para uma série de atividades tipo**

	Produção interna de calor (Watts)	$V_m$ (m/s)
Sono	73	0
Repouso sentado	105	0
Repouso em pé	128	0
<b>Caminhada (solo regular e nivelado)</b>		
1. Sem carga		
a 2 km/h	180	0,6
a 3 km/h	215	0,8
a 4 km/h	245	1,1
a 5 km/h	290	1,4
2. Com carga		
10 kg de carga, 4 km/h	350	1,1
30 kg de carga, 5 km/h	465	1,1
<b>Caminhada (solo regular em subida)</b>		
1. Sem carga		
5% de desnível a 4 km/h	330	1,1
15% de desnível a 3 km/h	380	0,6
25% de desnível a 3 km/h	535	0,8

	Produção interna de calor (Watts)	$V_m$ (m/s)
<b>Caminhada (solo regular em subida)</b>		
2. Com carga de 20 kg		
15% de desnível a 4 km/h	490	1,1
25% de desnível a 4 km/h	745	1,1
<b>Escada 70°</b>		
Velocidade 11,2 m altura/min		
sem carga	530	0,5
com 20 kg de carga	645	5
<b>Descida a 5 km/h sem carga</b>		
5° de desnível	250	1,4
15° de desnível	255	1,4
25° de desnível	325	1,4
<b>Empurrar ou puxar vagonetas, 3,6 km/h (solo regular)</b>		
esforço de empurrar : 12 kg	525	1
esforço de empurrar : 16 kg	675	1
<b>Carregar um carrinho de mão (solo plano e regular, 4,5 km/h, pneus borracha, 100 kg de carga)</b>		
	410	1,4
<b>Limar ferro</b>		
42 golpes de lima/min	185	0,25
60 golpes de lima/min	350	0,25

	Produção interna de calor (Watts)	$V_m$ (m/s)
<b>Trabalho com marreta (2 mãos) peso da marreta 4,4 kg, 15 golpes/min</b>		
Carpintaria	525	0,5
serrar à mão	360 - 430	0,25
serrar à máquina	185	0,15
Aplainar à mão	500 - 570	0,25
Alvenaria, 5 tijolos/min	300	0,25
Aparafusar	145 - 210	0,15
Cavar um trincheira	490 - 560	0,5
<b>Trabalho com máquina-ferramenta</b>		
leve (regulagem-montagem)	175	0,15
médio (carregamento)	245	0,25
penoso	370	0,25
<b>Trabalho com máquina manual</b>		
leve (polimento leve)	175	0,25
médio (lixamento)	290	0,25
penoso (furação pesada)	410	0,25

■ **AVALIAÇÃO DO ISOLAMENTO VESTIMENTAR**

■ **ISO/DP 9920 -  $I_{Cl}$**  (função das características da roupa)

$$I_{Cl} = \sum I_{Clv}$$

■ **Redução do índice:**

- lavagem 3 a 10%
- efeito de bombeamento 5 a 50% em função do n° de aberturas, da textura e da natureza da tarefa

$I_{Cl}$  resultante <  $I_{Cl}$  calculado

Fator de segurança no cálculo do equilíbrio térmico

**VESTIMENTAS DE PROTEÇÃO**

$Clo$   $m^2 \cdot C/W$

Calção, calça, meia, sapato, camisa manga longa, tapa-pó aluminizado	0,77	0,119
Idem, mas com um casaco aluminizado com comprimento na altura das ancas	1,36	0,211
Idem, mas com um casaco com comprimento na altura da batata da perna	1,74	0,270
Calção, T-shirt, macacão de trabalho, soquetes, sapatos, calça aluminizada e sobretudo aluminizado	1,48	0,229

## Parâmetros climáticos

■ **MEDIDA DOS PARÂMETROS CLIMÁTICOS**

**ISO 7726** - Diferentes tipos de captores, gama de medições e sua precisão, assim como certas recomendações

⊙ **Temperatura do ar ( $t_a$ )**

sem qualquer radiação térmica - tempo de latência

⊙ **Umidade relativa do ar (HR)**

$$\frac{\text{pressão parcial de vapor d'água } (P_v)}{\text{pressão de vapor saturante à mesma temperatura } (P_s)} \times 100$$

$$t_h \neq t_{hn} \text{ (psicrômetro)}$$

⊙ **Temperatura média de radiação ( $t_r$ )**

duas técnicas: termômetro de globo negro

integração de diferentes fontes de radiação (Fanger) - forma das paredes,  $t^{\circ}_x$  e posição em relação ao corpo (ISO-7726)

⊙ **Velocidade do ar ( $V_a$ )**

por anemômetros

$V_a$  = medido em 3 eixos com soma vetorial

$$V_a^2 = V_x^2 + V_y^2 + V_z^2 \text{ (absoluta)}$$

⊙ **Temperatura úmida natural**

base de cálculo para o **IBUTG** (Índice de bulbo úmido - temperatura de globo (WBGT))



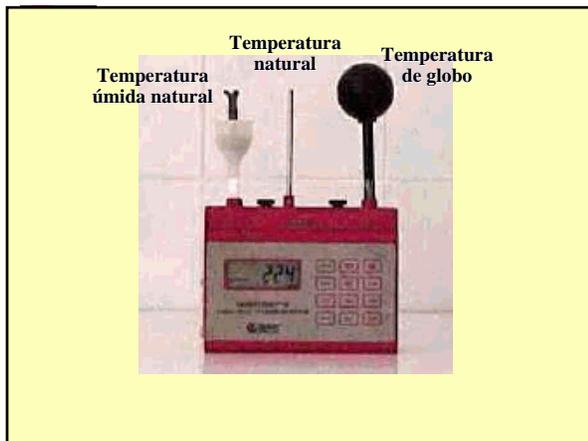
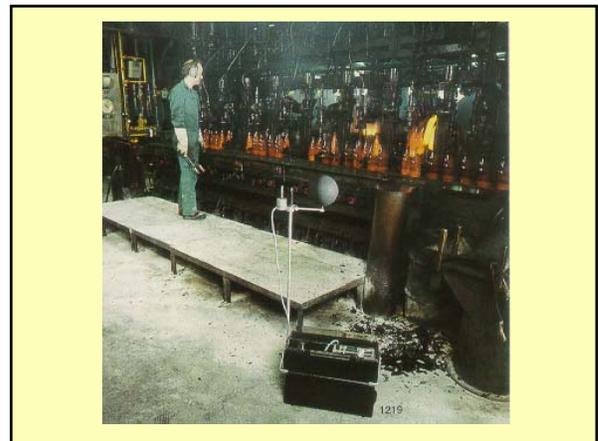
## Índices térmicos

**Finalidade:** determinação do risco térmico

**Tipos:**

- **IBUTG**, aparelho de medição (empírico)
- $SW_{nec}$  através de ( $t_a$ ,  $P_a$  ou  $t_{hr}$ ,  $t_{gr}$ ,  $V_a$ )
- **PMV** - PPD de conforto

© **IBUTG**  
**Índice global - Yaglou e Minar 1957 (ISO 7243)**  
**necessita:  $t_g$  e  $t_{hn}$**   
 Os valores são fixados em função do metabolismo e da aclimação, trabalhadores em boa saúde com vestimentas comuns de trabalho.  
**Campo de ação limitado!**  
 → baseado em duas temperaturas pouco reprodutíveis  
 → como os parâmetros de base são desconhecidos não se sabe como agir para reduzir a restrição  
**Segundo o CECA - só para identificar uma situação de risco**



$IBUTG = 0,7 t_{hn} + 0,3 t_g$   
 $IBUTG = 0,7 t_{hn} + 0,2 t_g + 0,1 t_a$  (sol - radiação)

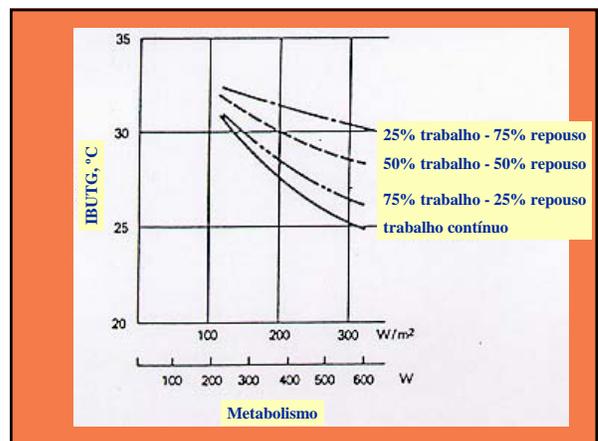
**Exemplo:**

- exterior, verão, tempo seco  
 $t_a = 30, t_g = t_a, t_h = 18, V_a = 0,15$  **IBUTG = 22,3**
- escritório mal ventilado, no mesmo dia  
 $t_a = 35, t_g = t_a, t_h = 20, V_a = 0,15$  **IBUTG = 25,2**
- indústria confinado  
 $t_a = 35, t_g = 51, t_h = 23, V_a = 0,1$  **IBUTG = 34,9**

**Valores limites de IBUTG para um trabalho contínuo e para sujeitos vestidos com roupas de trabalho normais ( $I_{cl} = 0,6$  Clo) - ISO 7243**

Metabolismo (Watts)	Sujeito aclimatado	Sujeito não aclimatado
< 118	33	32
118 - 234	30	29
235 - 360	28	26
361 - 468	25 - 26*	22 - 23*
> 468	23 - 25*	18 - 20*

\* O primeiro número é preferido na ausência de corrente de ar, o segundo quando os movimentos de ar são perceptíveis



O IBUTG serve então para:

- apreciar a tolerância de uma situação de trabalho
- organizar uma alternância de trabalho x repouso

Se IBUTG muito elevado indica:

- risco potencial em caso de exposição contínua
- a necessidade de aprofundar a análise

⊙ **Temperatura efetiva (NR-17)**  
**Yaglou 1923-1927 (difusão mundial)**

**Finalidade:** apreciar o conforto térmico (bem-estar)

**Definição:** temperatura de um ar "calmo", saturado de vapor d'água, que produziria uma sensação imediata de conforto ou desconforto equivalente a do ambiente estudado

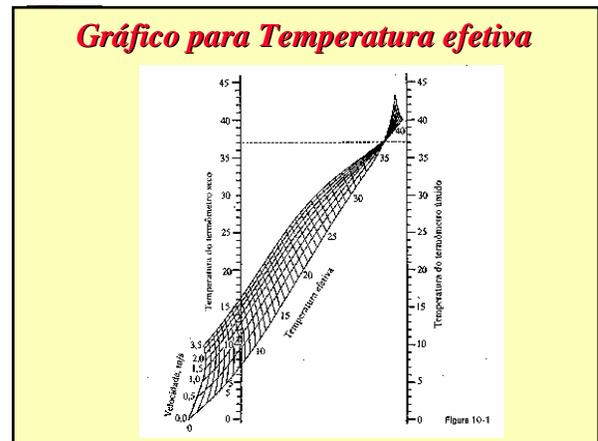
Dois ábacos originalmente:

- sujeitos dorso nú, calças e sapatos
- pessoas normalmente vestidas e extrapolação para trabalhadores vestidas e suas roupas

Yaglou não considera radiação  $t_{efetiva} = f(t_a, t_{hr}, V_a)$

⊙ **CÁLCULO DA TEMPERATURA EFETIVA ( $t_{ef}$ )**

1. Medir a temperatura do termômetro seco ( $t_s$ )
2. Medir a temperatura do termômetro úmido ( $t_h$ )
3. Medir a velocidade do ar com anemômetro
4. Localizar  $t_s$  na escala vertical à esquerda
5. Localizar  $t_h$  na escala vertical à direita
6. Ligar os dois pontos
7. Selecionar a curva da velocidade do ar média
8. Marcar o ponto de intersecção entre a curva e a linha traçada
9. A  $t_{ef}$  é a temperatura que passa pelo ponto



**Validade:** atende a dois objetivos de um índice ideal

- constitui uma escala de severidade
- permite identificar o parâmetro que se deve agir

**Originalmente:** falta de valores limites  
1969 OMS (setor minas)

- $t_{ef} = 30$  - 210 W
- $t_{ef} = 28$  - 350 W
- $t_{ef} = 26,5$  - 535 W

⊙ **SUDAÇÃO NECESSÁRIA**

**Mais completo e complexo (ISO 7933)**

**Princípios:**

- determinação da  $Sw_{nec}$  para o equilíbrio térmico
- estimação da sudação efetiva ou prevista, tendo em conta as possibilidades do trabalhador
- cálculo das DLE (durações limites de exposição) levando em conta a evaporação e a perda sudoral

☉ **INDICES PMV - PPD**

**Fanger 1972 (ISO 7730)**

Se existe equilíbrio térmico, então o conforto está equilibrado

Baseia-se nos parâmetros climáticos

$$\bar{t}_a, \bar{t}_r, P_a, V_a, M, Clo$$

Conhecendo-se 5, deduz-se o 6° (geralmente  $\bar{t}_a$ )



⇒ **PMV - Predicted Mean Vote = Voto médio previsto**

**Definição:** Corresponde ao valor médio previsto dos votos com relação à sensação térmica que um grupo grande de pessoas exprimiria em uma determinada situação em uma escala de 7 pontos.

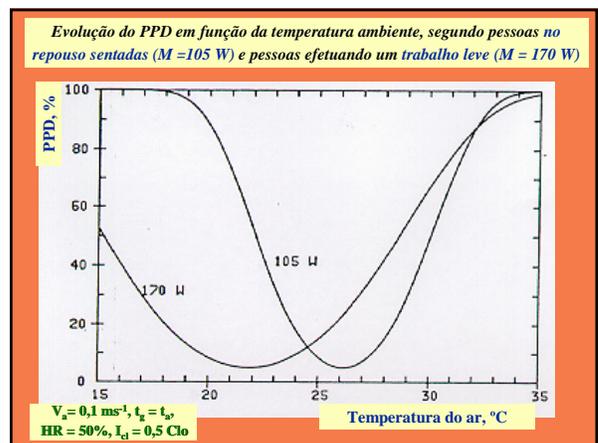
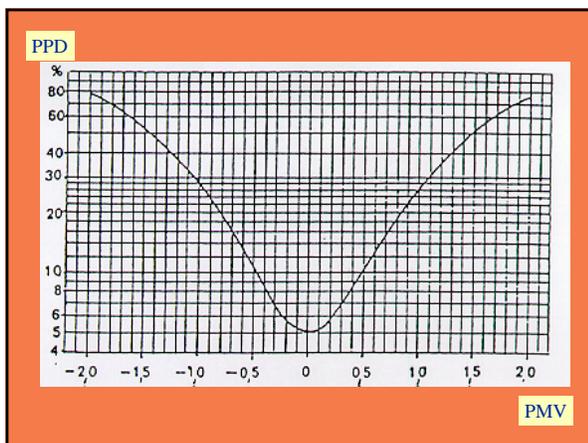
+3	Muito quente
+2	Quente
+1	Levemente quente
0	neutro
-1	Levemente frio
-2	Frio
-3	Muito frio

⇒ **PPD - Predicted Percentage of Dissatisfied = Porcentagem prevista de insatisfeitos**

**Definição:** Corresponde a porcentagem de pessoas que, colocadas em tais condições térmicas, estimam ter frio (-2 e -3) ou calor e mesmo muito calor (+2 e +3)

**A relação PMV-PPD permite prever a porcentagem de pessoas insatisfeitas.**

→ Nenhuma condição térmica vai satisfazer 100%  
Quando mais favorável PMV = 0 restando 5% insatisfeitos



■ **Valores limites**

PPD = (-1, 0 ou 1) satisfeitos **falso**  
isto corresponderia a 27% PMV

Os limites dependem do número de pessoas que  
queremos tolerar

⊙ ISO preconiza (PPD = 10%)  
com PMV entre (-0,5 e +0,5)

**Para as normas brasileiras verificar:**

<http://www.mte.gov.br/sit/nr15htm>