

## **Cálculo da taxa metabólica através do índice do PMV pela equação de regressão linear simples entre a temperatura da superfície da vestimenta e a taxa metabólica**

Evandro Eduardo Broday (UTFPR) [evandroboday@ibest.com.br](mailto:evandroboday@ibest.com.br)  
Antonio Augusto de Paula Xavier (UTFPR) [augustox@utfpr.edu.br](mailto:augustox@utfpr.edu.br)

### **Resumo:**

Uma das grandes dificuldades encontradas para se realizar o cálculo da taxa metabólica através do índice PMV consiste na variável  $t_{cl}$ , visto que esta não é uma variável conhecida. Esta dificuldade faz com que se recorram aos valores tabelados de taxa metabólica ( $M$ ), os quais são generalizados, pois não mostram em que condições as atividades são desenvolvidas. Dessa forma, esta pesquisa realizou um estudo piloto em uma indústria metalúrgica, e de posse dos dados de variáveis ambientais e pessoais do conforto térmico, realizou-se uma regressão linear para encontrar uma equação de relação entre a temperatura de superfície da vestimenta e a taxa metabólica. Assim, é possível substituir na equação do balanço térmico a função  $t_{cl} = f(M)$ . Para este estudo, encontrou-se um coeficiente de determinação  $R^2 = 0,9965$ , demonstrando assim uma possível solução para o cálculo da taxa metabólica.

**Palavras chave:** Taxa Metabólica, Temperatura da superfície da vestimenta, ISO 8996 (2004).

## **Calculation of metabolic rate through the PMV index by simple linear regression equation between the clothing surface temperature and metabolic rate**

### **Abstract :**

One of the major difficulties encountered to perform the calculation of the metabolic rate through the PMV index is the  $t_{cl}$  variable, since this is not a known variable. This makes it difficult to turn to the tabulated values of metabolic rate ( $M$ ), which are widespread, do show the conditions under which activities are developed. Thus, this research made a pilot study in a metallurgical industry, and having the personal and environmental data of thermal comfort, there was made a linear regression equation to find a relationship between the clothing surface temperature and the metabolic rate. Thus, it is possible to replace in the thermal balance equation the function  $t_{cl} = f(M)$ . For this study, it was found a coefficient of determination  $R^2 = 0.9965$ , thus demonstrating a possible solution for the calculation of metabolic rate.

**Key-words:** Metabolic rate, Clothing surface temperature, ISO 8996 (2004).

## 1. Introdução

As pesquisas em conforto térmico visam estabelecer um ambiente que possa ser ocupado por várias pessoas para o desenvolvimento de suas atividades sem que as mesmas sintam desconforto em relação à temperatura, causando frio ou calor excessivo.

Nesse sentido, utiliza-se o PMV – *Predicted Mean Vote* – como sendo a sensação térmica real das pessoas do ambiente para se descobrir qual é a opinião de cada uma delas no ambiente em questão. Partindo-se do índice do PMV, é possível se determinar a taxa metabólica (M) calculada para cada tipo de atividade.

O cálculo da taxa metabólica é importante, pois através deste consegue-se obter outros valores que não sejam os tabelados, presentes na ISO 8996 (2004). Os valores tabelados contidos nesta norma são muito genéricos, pois mostram apenas a atividade e não as condições em que a mesma está sendo desenvolvida. Além disso, pesquisas já mostraram que o valor da taxa metabólica calculado é diferente do disposto na norma, apresentando uma discrepância significativa.

Vergara (2001) e Antonelli (2012), encontraram valores calculados de taxa metabólica diferentes aos valores tabelados da norma ISO 8996 (2004). Além disso, Xavier (2000) salienta que um valor de taxa metabólica não deve ser generalizado para um grupo de pessoas, devido às características individuais e influências psicológicas dentro do ambiente trabalho.

O principal problema encontrado para se calcular a taxa metabólica de cada atividade, encontra-se na variável  $t_{cl}$  (temperatura da superfície da vestimenta). A equação do  $t_{cl}$  possui esta variável nos dois membros da igualdade, sendo um deles um polinômio de quarto grau, impossibilitando desta forma que este índice seja isolado. Além disso, como se deseja calcular a taxa metabólica, não se possui o valor de M, não havendo dessa forma possibilidade para executar o cálculo.

Uma solução proposta neste trabalho é a utilização da regressão linear simples entre a taxa metabólica (M) e a temperatura da superfície da vestimenta ( $t_{cl}$ ). Utilizando-se dos dados das variáveis ambientais e pessoais do conforto térmico coletados durante o desenvolvimento desta pesquisa, é possível encontrar uma equação de  $t_{cl}$  em função de M, ou seja,  $t_{cl} = f(M)$ .

## 2. Referencial teórico

A clássica definição de conforto térmico, de acordo com a ASHRAE 55 (2004), é: “uma condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico”. Nesse sentido, para se encontrar em conforto térmico, é necessário que a pessoa esteja confortável no ambiente em questão e mantenha constante a sua temperatura corporal, sem que haja a necessidade de acionar mecanismos de defesa contra o frio ou contra o calor (MICHALOSKI, 2002).

Assim, chega-se a definição de neutralidade térmica, que de acordo com Djongyang, Tchinda e Njomo (2010), ocorre neutralidade térmica quando o indivíduo não prefere sentir nem mais calor e nem mais frio no ambiente em que se encontra.

De acordo com Jang, Koh e Moon (2007), existem seis variáveis importantes no conforto térmico, sendo duas variáveis pessoais (taxa metabólica e isolamento da vestimenta) e quatro ambientais (temperatura do ar, velocidade do ar, temperatura radiante média e umidade relativa).

O conforto térmico está fortemente ligado ao modelo do balanço térmico. Para que ocorra balanço térmico, a produção de calor por processos metabólicos do corpo humano deve ser igual à perda de calor para o ambiente externo (DJONGYANG, TCHINDA e NJOMO, 2010).

A produção de calor se dá através do metabolismo e as perdas de calor se dão através da respiração e da pele (XAVIER, 2000; AMPOFO *et al.*, 2004). As perdas de calor ocorrem nas modalidades sensível e latente, em termos de fatores ambientais. O balanço térmico inclui tanto as variáveis ambientais (temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade do ar e umidade do ar) e as variáveis pessoais (taxa metabólica e isolamento da vestimenta) (PARSONS, 2000).

De acordo com Kilic *et. al.* (2006), a equação dupla, que representa o modelo do balanço térmico, pode ser vista na equação (1):

$$\begin{aligned}
 & M - W - 0,0014.M.(34 - t_a) - 0,0173.M.(5,87 - p_a) \\
 & - 3,05.[5,73 - 0,007.(M - W) - p_a] - 0,42.[(M - W) - 58,15] \\
 & = \frac{35,7 - 0,028.(M - W) - t_{cl}}{0,155.I_{cl}} \\
 & = \frac{f_{cl}.h_c.(t_{cl} - t_a) + 3,96.10^{-8}.f_{cl}.[(t_{cl} + 273)^4 - (t_{rm} + 273)^4]}{(t_{cl} + 273)^4} \quad (1)
 \end{aligned}$$

onde:

M = taxa metabólica (W/m<sup>2</sup>);

W = energia mecânica eficaz, nula para a maioria das atividades sedentárias (W/m<sup>2</sup>);

t<sub>a</sub> = temperatura do ar (°C);

t<sub>rm</sub> = temperatura radiante média (°C);

t<sub>cl</sub> = temperatura da superfície externa da vestimenta (°C);

p<sub>a</sub> = pressão parcial de vapor de água (kPa);

I<sub>cl</sub> = isolamento térmico da vestimenta (clo);

f<sub>cl</sub> = razão entre a área da superfície corporal do vestido e do corpo nu, adimensional;

h<sub>c</sub> = coeficiente de troca de calor por convecção (W/m<sup>2</sup>K);

Todas as variáveis ambientais que apareceram até agora são obtidas através de medições e as variáveis pessoais através de tabelas e dados presentes nas normas, exceto a temperatura superficial externa da vestimenta (ANDREASI, 2009), dada pela equação (2):

$$t_{cl} = 35,7 - 0,028M - 0,155.I_{cl} \cdot \left\{ \frac{3,96.10^{-8}.f_{cl}.[(t_{cl} + 273)^4 - (t_{rm} + 273)^4]}{f_{cl}.h_c.(t_{cl} - t_a)} \right\} \quad (2)$$

Considerando para o coeficiente de troca de calor por convecção a equação (3) e para a razão entre a área da superfície corporal do vestido e do corpo nu a equação (4):

$$h_c = 2,38.(t_{cl} - t_a)^{0,25} \quad \text{ou} \quad h_c = 12,1.\sqrt{V_{ar}} \Rightarrow \text{utilizar o maior valor} \quad (3)$$

$$f_{cl} = 1 + 0,2.I_{cl}, \text{ para } I_{cl} \leq 0,5 \text{ clo} \quad \text{ou} \quad f_{cl} = 1,05 + 0,1.I_{cl}, \text{ para } I_{cl} > 0,5 \text{ clo} \quad (4)$$

Conforme a ISO 7726 (1998), existem duas maneiras de se calcular a temperatura radiante média, dependendo se a convecção for natural ou forçada. Considerando um globo negro de 0,15m de diâmetro, a convecção é dada pelas equações (5) e (6):

- Para a convecção natural:

$$t_{rm} = [(t_g + 273)^4 + 0,4 \cdot 10^8 |t_g - t_a|^{\frac{1}{4}} \cdot (t_g - t_a)]^{\frac{1}{4}} - 273 \quad (5)$$

- Para a convecção forçada:

$$t_{rm} = [(t_g + 273)^4 + 2,5 \cdot 10^8 \cdot V_a^{0,6} \cdot (t_g - t_a)]^{\frac{1}{4}} - 273 \quad (6)$$

onde:

$V_a$  = velocidade do ar ao nível do globo (m/s);

$t_a$  = temperatura do ar (°C);

$t_g$  = temperatura de globo (°C).

A variável de grande interesse deste trabalho é a taxa metabólica. A taxa metabólica (M) é a produção de energia pelo corpo. O metabolismo é o custo energético de carga muscular, associado à conversão de açúcares e gorduras em energias térmica e mecânica (MALCHAIRE, 2004).

Segundo Green (2011), a produção de taxa metabólica pelo organismo é um reflexo das atividades celulares, que trabalham no corpo consumindo oxigênio (O<sub>2</sub>) e rejeitando dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Segundo Havenith *et. al.* (2002), quanto mais intensa for a atividade realizada, maior será a taxa de calor produzida.

A Norma ISO 8996 (2004), intitulada como “Ergonomia – Determinação da produção de calor metabólico”, refere-se à determinação da produção do calor metabólico, ou como tratado neste trabalho, a taxa metabólica (M). Basicamente, essa norma fornece níveis distintos para determinar a taxa metabólica, sendo realizadas das seguintes maneiras: conforme o tipo de atividade de ocupação; utilizando tabelas que estimam a taxa metabólica por atividade específica de acordo com a taxa cardíaca e através de medições diretas do consumo de oxigênio.

Conforme disposto na ISO 8996 (2004) a taxa metabólica não possui o mesmo valor para todas as atividades. Sua unidade de medida é o “met”, sendo que 1 met equivale a 58 W/m<sup>2</sup>. 1 met é utilizado para mensurar a produção de calor de uma pessoa que esteja descansando e sentada, em condições de conforto térmico (HUANG e XU, 2006).

Como já citado, estar em neutralidade térmica é uma das condições para se estar em conforto térmico. Quando, na equação de balanço de energia, verifica-se um balanço diferente de zero, ou seja, há mais produção de calor do que perdas, ou vice-versa, verifica-se então uma sensação de desconforto térmico (BECKER *et al.*, 2003).

De acordo com Yao, Li e Liu (2009), com base no equilíbrio de calor entre o corpo e o ambiente, no estado estacionário e considerando também a carga térmica, Fanger encontrou a equação do PMV, conforme mostra a equação (7):

$$PMV = [0,303 \cdot \exp.(-0,036 \cdot M) + 0,028] \cdot L \quad (7)$$

onde:

PMV = *Predicted Mean Vote* – Voto Médio Estimado;

M = taxa metabólica (W/m<sup>2</sup>);

L = carga térmica (W/m<sup>2</sup>).

O *Predicted Mean Vote* – Voto Médio Estimado (PMV) é um índice que mostra a média de sensação térmica de um grande grupo de pessoas expostas a um mesmo ambiente (ALAHMER *et al.*, 2011; WEI, LIN, SUN, LI, 2010). De acordo com Humphreys e Nicol (2002), o PMV é o índice de conforto térmico mais utilizado para avaliar a sensação térmica em um ambiente moderado.

Segundo Coutinho (2005), um ambiente moderado é aquele que não proporciona sensação extrema de calor ou de frio. Portanto, um ambiente moderado engloba as situações onde há conforto térmico e também onde existem condições ligeiramente desconfortáveis.

Este índice varia de -3 a +3, em uma escala de sete pontos, onde cada resposta representa como a pessoa se sente em relação ao ambiente em que se encontra. A escala pode ser vista no quadro 1 (ISO 7730 [2005]):

+3	Quente
+2	Aquecido
+1	Levemente aquecido
0	Neutro
-1	Levemente refrescado
-2	Refrescado
-3	Frio

Fonte: ISO 7730 (2005)

Quadro 1 – Escala de sensações térmicas

A equação (7), usada para a resposta média da predição de votos da sensação térmica, pode ser estendida, adicionando-se à carga térmica, resultando então a equação (8):

$$PMV = [0,303 \cdot \exp. (-0,036 \cdot M) + 0,028] \cdot \left\{ \begin{array}{l} (M - W) - 3,05 \cdot 10^{-3} \cdot [(5733 - 6,99 \cdot (M - W) - p_a) - 0,42 \cdot [(M - W) - 58,15] \\ -1,7 \cdot 10^{-5} \cdot M \cdot (5867 - p_a) - 0,0014 \cdot M \cdot (34 - t_a) \\ -3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (t_{rm} + 273)^4] - f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a) \end{array} \right. \quad (8)$$

A partir da equação (8), é possível calcular a taxa metabólica (M) utilizando o índice do PMV, porém a dificuldade encontrada está na variável  $t_{cl}$ , que conforme a equação (2), também é dependente da taxa metabólica e possui o  $t_{cl}$  em ambos os lados da equação.

### 3. Metodologia

Esta pesquisa é de caráter descritivo exploratório. A metodologia é de natureza predominantemente quantitativa, em relação aos dados obtidos pelos equipamentos de medição (LAKATOS e MARCONI, 2001). É também um estudo de caso, pois tem o objetivo

de alcançar um conhecimento amplo e detalhado do tema a partir de um estudo profundo de um ou poucos objetos relacionados a ele.

Os dados necessários para este estudo são as variáveis ambientais e pessoais. Para obter os dados ambientais fez-se necessário o uso de equipamentos devidamente aferidos para melhor precisão de valores numéricos. Para isso, foi utilizado o equipamento denominado *Confortímetro Sensu®*, o qual forneceu as seguintes variáveis: temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do ar e velocidade de globo.

Durante as medições, o equipamento gravava todos esse dados em um intervalo de 10 minutos. Assim, ao final de uma hora, havia seis valores diferentes para cada uma das quatro variáveis ambientais.

Os dados pessoais (isolamento da vestimenta, sensações e preferências térmicas) foram obtidos através de questionários passados aos funcionários no momento de realização das atividades cotidianas. O questionário era composto por questões referentes a qual roupa o trabalhador estava usando e qual era sua sensação térmica no desenvolvimento da atividade.

Os dados foram coletados em 8 pontos distintos da empresa: expedição (A), estamperia (prensas) (B), estamperia (guilhotina) (C), estamperia (dobra) (D), estamperia (corte) (E), pintura (F), ponteadeiras (G) e roupeiro (H). Dividiu-se dessa maneira a pedido da empresa, pois a mesma queria conhecer o comportamento da temperatura em cada posto de trabalho.

Na expedição, os móveis são embalados e colocados no caminhão para que sejam transportados até o destino final. Na estamperia (prensas), as chapas de aço são prensadas. Na guilhotina, as chapas são cortadas para que fiquem com o tamanho ideal. Na dobra são feitas as junções das chapas para a futura forma do móvel e no corte são retirados alguns excessos, que podem ter passado pela guilhotina ou que sobram dependendo do móvel que será fabricado. A pintura é onde as chapas, gavetas, todos os acessórios que compõem o móvel são pintados. Por fim, o ponto H é onde são fabricados os móveis de aço tipo roupeiro.

No total, este estudo piloto realizou 32 medições, sendo realizadas 4 medições em cada posto de trabalho. Quando se possui um número de amostras superior a 30, a distribuição das médias amostrais pode ser aproximada por uma distribuição normal. Assim, o Teorema do Limite Central permite essa aproximação e torna possível o uso da curva normal para avaliação dos dados (TRIOLA, 2005).

Para este estudo, nem todos os dados coletados foram utilizados. Em se tratando das variáveis ambientais, apenas a umidade relativa não foi utilizada. Em se tratando das variáveis pessoais, utilizou-se apenas o isolamento da vestimenta.

#### **4. Análise e Discussão dos Dados**

Como já comentado, é uma dificuldade de se obter um valor calculado da taxa metabólica, em função das dificuldades em se trabalhar com as equações. O que se faz aqui é uma regressão linear entre a temperatura superficial da vestimenta e a taxa metabólica, que será demonstrado no texto abaixo.

Após os dados serem coletados, foi feito um quadro e realizada a média aritmética simples entre os dados, de acordo com o quadro 2:

Medição	Temperatura do Ar (°C)	Velocidade do Ar (m/s)	Temperatura de Globo (°C)	Isolamento da Vestimenta (clo)
1	26,35	0,08	26,8	0,69
2	30,03	0,11	30	0,61
3	32,89	0,34	33	0,68
4	29,82	0,09	32,4	0,53
5	24,1	0,1	24,8	0,58
6	31,55	0,13	33,9	0,59
7	29,52	0,04	27,8	0,59
8	23,97	0,02	24	0,61
9	25,4	0,08	25,9	0,59
10	27,47	0,03	29,8	0,61
11	20,08	0,01	19,7	0,55
12	21,72	0,02	21,7	0,56
13	21,32	0,03	21	0,61
14	21,45	0,08	21,5	0,63
15	23,81	0,27	24,8	0,6
16	21,13	0,2	20,8	0,56
17	24,49	0,05	26	0,56
18	28,51	0,06	29,1	0,57
19	29,82	0,07	30,4	0,62
20	19,72	0,02	19,4	0,65
21	22,85	0,03	24	0,59
22	28,03	0,16	29,6	0,71
23	18,25	0,07	18,2	0,53
24	26,53	0,05	27,6	0,53
25	23,43	0,05	23,1	0,64
26	27,19	0,05	29,4	0,61
27	21,23	0,01	21,3	0,53
28	19,7	0,01	19,7	0,57
29	29,12	0,11	30,5	0,62
30	19,9	0,02	18,2	0,63
31	23,42	0,05	21,7	0,61
32	26,53	0,03	26	0,56
<b>Média</b>	<b>24,98</b>	<b>0,08</b>	<b>25,38</b>	<b>0,60</b>

Fonte: Autor

Quadro 2 – Médias dos dados ambientais e pessoais

Como já visto na equação (2), o  $t_{cl}$  está presente nos dois lados da igualdade. O primeiro passo é deixar os valores de  $t_{cl}$  do lado direito fixos. Para isso utiliza-se uma equação que está no anexo D da norma ISO 7730 (2005), conforme equação (9) abaixo:

$$t_{cl} = t_{ar} + \frac{(35,5 - t_{ar})}{3,5 \cdot I_{cl} + 0,1} \quad (9)$$

Substituindo todos os dados na equação acima, obtem-se para  $t_{cl}$  o valor de 29,76 °C. Este valor de  $t_{cl}$  será substituído no lado direito de toda equação (2). Para o cálculo do  $t_{cl}$ , é necessário obter outras variáveis.

Como o  $I_{cl}$  obtido é superior a 0,5 clo, utiliza-se a equação (4) para calcular o fator de área de superfície da vestimenta, obtendo-se o valor de 1,11. Precisa-se encontrar o valor da temperatura radiante média, que pode ser calculada em função da temperatura do globo, dado este obtido pelo equipamento de medição.

Porém, antes de calcular a temperatura radiante média, faz-se necessário saber se a convecção do ambiente é natural ou forçada. Isto é verificado através do coeficiente de troca de calor por convecção  $h_c$ . Utilizando-se da equação (3), foram substituídos os valores das variáveis. Como a variável velocidade do ar,  $V_{ar}$ , depende da taxa metabólica, e o confortímetro lê a velocidade absoluta, foram escalonados vários valores de taxa metabólica para se calcular o coeficiente de convecção. Na realidade, para valores de taxa metabólica acima de 60 W/m<sup>2</sup>, encontra-se um ambiente de convecção forçada, adotado então para este trabalho.

Dessa forma, utiliza-se a equação (6) para o cálculo da temperatura radiante média em ambiente de convecção forçada, e chega-se ao valor de 25,58 °C. Com todos estes valores calculados até agora, é possível encontrar os valores de  $t_{cl}$  para a taxa metabólica. É verificado na norma ISO 8996 (2004), que de acordo com a atividade, a taxa metabólica varia entre 40 e 410 W/m<sup>2</sup>. Porém, para se utilizar o modelo do PMV, a taxa metabólica deve variar entre 46 e 232 W/m<sup>2</sup>. O  $t_{cl}$  foi então calculado utilizando alguns dos valores contidos na ISO 8996 (2004) do intervalo citado acima. Conhecendo então todos os dados, para cada valor da taxa metabólica foi encontrado então um valor de  $t_{cl}$ , conforme quadro 2 abaixo:

M	$t_{cl}$
46	30,82
55	30,56
70	29,65
100	27,79
110	27,24
115	26,97
135	25,93
140	25,68
165	24,47
180	23,76
185	23,53
200	22,85
210	22,4
230	21,51
232	21,43

Fonte: Autor

Quadro 2 – Relação entre M e  $t_{cl}$

De posse desses dados, foi feito o gráfico entre essas duas variáveis, de onde foi possível obter uma equação (10) que relaciona estas duas variáveis, através da regressão linear, conforme figura 1 abaixo:

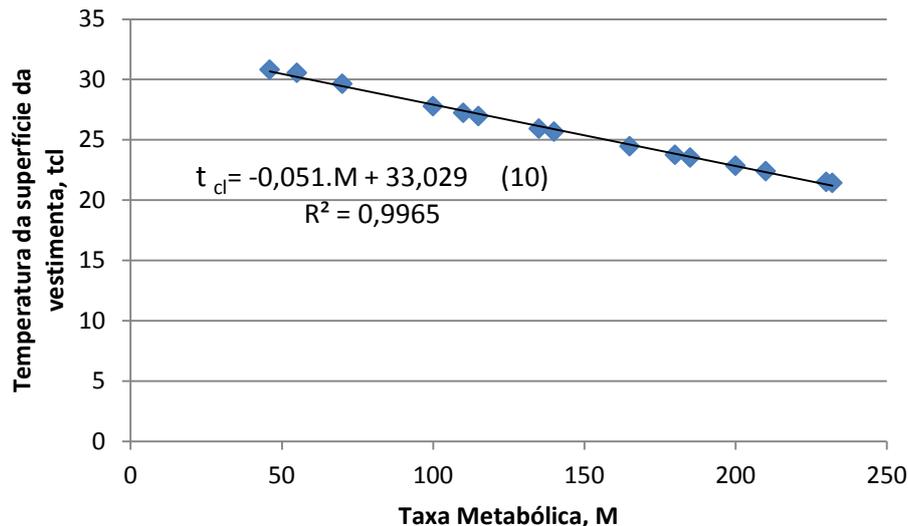


Figura 1 – Gráfico da regressão linear entre as variáveis

Fonte: Autor

De acordo com o gráfico da figura 1 acima, o coeficiente de determinação apresentado vale 0,9965, ou seja, 99,65% das variações da variável isolamento da vestimenta é explicada pela variação da variável da taxa metabólica.

### 5. Considerações Finais

Após realizar a regressão linear entre as duas variáveis, obtem-se uma equação de regressão (10). Esta equação pode ser substituída nos campos onde encontra-se a variável  $t_{cl}$  da equação (8), deixando todos os campos em função da taxa metabólica.

Dessa forma, é possível encontrar o valor real da taxa metabólica, pois como se deseja encontrar  $M$  através do índice PMV, ou seja, através da sensação térmica real das pessoas, todos os outros dados são também conhecidos, restando assim só o cálculo da variável taxa metabólica.

A regressão linear entre as duas variáveis citadas é uma sugestão para que seja possível realizar o cálculo, podendo ser aplicado também outros métodos. Pelo fato da equação (8) ser uma função implícita, não se consegue isolar a variável  $M$ , tendo então que se recorrer a métodos matemáticos para a solução deste problema. Salienta-se também que é conveniente que se utilize um *software* matemático para o cálculo, facilitando-se assim a forma de se obter um valor numérico para a taxa metabólica.

### Referências

- ALAHMER, A.; MAYYAS, A.; MAYYAS, Abed A.; OMAR, M.A.; SHAN, D. *Vehicular thermal comfort models: a comprehensive review*. Applied Thermal Engineering, v. 31, n. 6-7, p. 995-1002, mai. 2011.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS, INC. *Thermal environmental conditions for human occupancy*. ASHRAE STANDARD 55-1992. Atlanta, 2004.
- AMPOFO, F.; MAIDMENT, G.; MISSENDEN, J. *Underground railway environment in the UK Part 1: Review of thermal comfort*. Applied Thermal Engineering, v. 24, n. 5-6, p. 611-631, abr. 2004.
- ANDREASI, W.A. *Método de avaliação de conforto térmico em região de clima quente e úmido do Brasil*. 2009. 204 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.
- ANTONELLI, B.A. *Verificação da adequabilidade do modelo normalizado de conforto térmico utilizando a taxa metabólica determinada pelas sensações térmicas reais de usuários em ambientes industriais*. 2012. 92 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2012.

**BECKER, S.; POTCHTER, O.; YAAKOV, Y.** *Calculated and observed human thermal sensation in an extremely hot and dry climate.* Energy and Buildings, v. 35, n. 8, p. 747-756, set. 2003.

**COUTINHO, A.S.** *Conforto e Insalubridade Térmica em Ambientes de Trabalho.* 2.ed. João Pessoa: Universitária, 2005.

**DJONGYANG, N.; TCHINDA, R.; NJOMO, D.** *Thermal comfort: a review paper.* Renewable and Sustainable Energy, v. 14, n. 9, p. 2626-2640, dez. 2010.

**GREEN, J. A.** *The heart rate method for estimating metabolic rate: review and recommendations.* Comparative Biochemistry and Physiology - Part A: Molecular & Integrative Physiology, v. 158, n. 3, p. 287-304, mar. 2011.

**HAVENITH, G.; HOLMÉR, I.; PARSONS, K.** *Personal factors in thermal comfort assessment: clothing properties and metabolic heat production.* Energy and Buildings, v. 34, n. 6, p. 581-591, jul. 2002.

**HUANG, J.; XU, W.** *A new practical for the assessment of the heat exchange of human body with the environment.* Journal of Thermal Biology, v. 31, n. 4, p. 318-322, mai. 2006.

**HUMPHREYS, M.A.; NICOL, J.F.** *The validity of ISO-PMV for predicting comfort votes in every-day thermal environments.* Energy and Buildings, v. 34, n. 6, p. 667-684, jul. 2002.

**ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION.** *Determination of metabolic heat production.* ISO 8996, Genebra, 2004.

**ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION.** *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.* ISO 7730, Genebra, 2005.

**JANG, M.S.; KOH, C.D.; MOON, I.S.** *Review of thermal comfort design based on PMV/PPD in cabins of Korean maritime patrol vessels.* Building and Environment, v. 42, n. 1, p. 55-61, jan. 2007.

**KILIC, M.; KAYNAKLI, R.; YAMANKARENIZ, R.** *Determination of required core temperature for thermal comfort with steady-state energy balance method.* International Communications in Heat and Mass Transfer, v. 33, n. 2, p. 199-210, fev. 2006.

**LAKATOS, E.M.; MARCONI, M.A.** *Fundamentos de Metodologia Científica.* 6.ed. São Paulo: Atlas, 2001.

**MALCHAIRE, J.** *Travail à la chaleur.* EMC – Toxicologie-Pathologie, v. 1, n. 3, p. 96-116, jul. 2004.

**MICHALOSKI, A.O.** *Avaliação do desempenho térmico por meio de simulação computacional de habitações populares implantadas na vila tecnológica de Curitiba.* 2002. 204 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2002.

**PARSONS, K.C.** *Environmental ergonomics: a review of principles, methods and models.* Applied Ergonomics, v. 31, n. 6, p. 581-594, dez. 2000.

**TRIOLA, M.F.** *Introdução à Estatística.* 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2005. 696 p.

**VERGARA, L. G. L.** *Análise das condições de conforto térmico de trabalhadores da unidade de terapia intensiva do hospital universitário de Florianópolis.* 201 fls. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

**WEI, S.; LI, M.; LIN, W.; SUN, Y.** *Parametric studies and evaluations of indoor thermal environment in wet season using a field survey and PMV-PPD method.* Energy and Buildings, v. 42, n. 6, p. 799-806, jun. 2010.

**XAVIER, A.A.P.** *Predição de Conforto Térmico em ambientes internos com atividades sedentárias – teoria física aliada a estudos de campo.* 2000. 251 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção e Sistemas) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

**YAO, R.; LI, B.; LIU, J.** *A theoretical adaptive model of thermal comfort – Adaptive Predicted Mean Vote (aPMV).* Building and Environment, v. 44, n. 10, p. 2089-2096, out. 2009.