

# AMBIENTE TÉRMICO DE SALAS DE TRABALHO NUMA INDUSTRIA METALOMECÂNICA ESTUDO COMPARATIVO

Mário Talaia<sup>(1\*)</sup>, António Martins<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> CIDTFF, Departamento de Física, Universidade de Aveiro, 3810-193 Aveiro, Portugal  
\*e-mail: mart@ua.pt

<sup>(2)</sup> ISCIA – Inst<sup>o</sup> Superior de Ciências da Informação e da Administração, Aveiro, Portugal

## Sumário

Os ambientes térmicos quentes são ambientes para os quais o balanço térmico, calculado na base da transferência de energia sob a forma de calor por radiação e convecção é positivo (a temperatura do ar ambiente e a temperatura radiante média são superiores à temperatura média cutânea).

Neste trabalho apresenta-se um caso de estudo onde são registados, durante o dia, parâmetros higrométricos. São também registados valores exteriores as salas de trabalho. Os resultados obtidos através da aplicação de índices térmicos mostram a necessidade da Direcção de Higiene e Segurança valorizar estratégias de intervenção em ambiente quente sujeito a stress térmico.

## 1. Introdução

Os ambientes térmicos quentes são ambientes para os quais o balanço térmico, calculado na base da transferência de energia sob a forma de calor por radiação e convecção é positivo. Neste ambiente o organismo deve accionar os diferentes meios de “luta”, de que dispõe, contra o calor (Talaia, 2004).

O calor gerado pelo corpo humano tem de ser igual ao calor perdido (Butera, 1998). É aceite na literatura da especialidade que o bem-estar do trabalhador num determinado local recai sobre a relação entre o equilíbrio térmico do corpo humano e a temperatura do ar húmido desse local (Zhao, *et al.*, 2009). Este equilíbrio recai sobre vários factores, nomeadamente o ambiente térmico do local de trabalho, o calor gerado através do metabolismo humano e as propriedades térmicas dos materiais que constituem as roupas usadas, entre outras (Kang, *et al.*, 2001; Huang, 2006).

A roupa representa um elemento de elevada importância no conforto térmico pois tem um impacto directo sobre o mesmo, regulando as trocas de energia sob a forma de calor tal como a massa de suor do corpo humano com o meio ambiente (Huang, 2006).

Quando em condições de conforto térmico, o corpo humano tem a capacidade de regular a sua temperatura interna através de métodos passivos e/ou evaporativos. Quando se regista uma situação de stress térmico extremo ou prolongado, esta torna-se insuficiente e obriga a um processo de selecção de

indivíduos com boa robustez física (Kang, *et al.*, 2001; Martens, 2006).

É sabido que condições de stress térmico reduzem os índices de produtividade e aumentam os comportamentos de risco e a probabilidade de acidentes de trabalho (Riniolo e Schmidt, 2006; O’Neal e Bishop, 2010), assim como o risco de aparecimento de doenças predominantemente cardiopulmonares (Martens, 2006; O’Neal e Bishop, 2010). Existem vários mecanismos que podem explicar o aparecimento destas doenças, como variações na pressão sanguínea (diástole e sístole) e na viscosidade sanguínea e alterações no ritmo cardíaco associados a ajustes fisiológicos à temperatura do meio ambiente (Martens, 1998, Seeley *et al.*, 2001; Davidovits, 2008).

A Higiene e Segurança Industrial têm feito esforços na procura de um índice de stress térmico que traduza satisfatoriamente a sobrecarga fisiológica para certas condições ambientais.

Pelo facto do conforto térmico ser uma sensação e não um parâmetro físico ou matemático possível de quantificar com exactidão, torna a definição de conforto térmico muito subjectiva dependendo de indivíduo para indivíduo. Esta definição pode até mesmo variar no mesmo indivíduo consoante o seu estado de saúde e/ou estado psicológico. Nestas circunstâncias um ambiente térmico neutro universal é impossível de obter para todos os indivíduos.

Neste trabalho apresenta-se um caso de estudo onde são registados, durante o dia, parâmetros higrométricos. São também registados valores exteriores as salas de trabalho.

Diferentes índices térmicos são aplicados e os valores são comparados com a performance e estratégias de intervenção da WMO (1987).

## 2. Teoria

A literatura da especialidade apresenta um número muito interessante de índices que permitem caracterizar um ambiente sujeito a stress térmico.

Um índice de stress térmico é um número que integra o efeito de vários parâmetros no ambiente térmico humano de tal forma que o seu valor caracteriza a tensão termal experienciada pelo indivíduo num ambiente quente (Corleto, 1998).

As condições ambientais das salas investigadas mostraram ser de ambiente quente. Nestes termos, considerou-se pertinente a aplicação de índices, nomeadamente o *ITE*, o *ITH*, o *WBGT* e o *EsConTer*.

O índice Temperatura Efectiva, *ITE*, é um dos índices de stress térmico com uma maior área de aplicação. O *ITE* estabelecido por Houghten e Yaglou (1923) permite relacionar os efeitos da temperatura do ar  $T$  e da humidade relativa  $HR$  no bem-estar do ser humano.

Assim, dois ambientes com a mesma temperatura efectiva devem admitir a mesma resposta térmica, mesmo com valores diferentes de temperatura do ar e de humidade relativa do ar desde que se registe o mesmo valor da velocidade do ar (ASHRAE, 2001).

O *ITE* resultou de um estudo empírico realizado em câmaras climatizadas em que diferentes indivíduos foram questionados sobre o seu bem-estar quando sujeitos a distintas condições ambientais. Foram utilizadas duas câmaras de teste climatizadas ligadas por uma porta, que estavam sujeitas a diferentes valores de temperatura e humidade relativa do ar. Numa das câmaras, foram mantidas os registos da temperatura do ar e humidade relativa (100%) enquanto que na outra câmara a temperatura do ar e a temperatura do termómetro húmido eram alteradas. Através da porta de ligação os indivíduos circulariam de uma câmara para a outra relatando aos investigadores a sua sensação térmica por comparação das sensações térmicas vivenciadas nas duas câmaras. Com esta metodologia, quando se variava os valores da temperatura e da temperatura húmida, ou seja, quando se variava a humidade relativa do ar, determinaram-se linhas que correspondiam a uma sensação térmica de bem-estar através das respostas “imediatas” dos indivíduos.

Na prática, o Índice da Temperatura Efectiva pode ser avaliado de duas formas, ou através de ábacos ou cartas psicrométricas ou analiticamente.

O Índice da Temperatura Efectiva, de acordo com Thom (1959), pode ser determinado analiticamente recorrendo à expressão,

$$ITE = 0.4(T_{wn} + T) + 4.8 \quad (1)$$

em que  $T_{wn}$  representa a temperatura húmida e  $T$  a temperatura do ar.

Mikani e Amorim (2005) disponibilizam valores limites para o índice *ITE*.

O índice *ITH*, índice Temperatura Humidade, foi inicialmente desenvolvido por Thom (1959), combinava a temperatura do termómetro molhado  $T_{wm}$  com a temperatura do ar  $T$ . Nieuwolt (1977) modificou este índice com o objectivo de facilitar a sua utilização. Este índice passou a ser determinado a partir do conhecimento da temperatura do ar e da humidade relativa do ar, pois esta última é mais fácil de medir que a temperatura do bolbo molhado ou temperatura do termómetro molhado.

De acordo com Nieuwolt (1977), o índice *ITH* pode ser calculado através da expressão,

$$ITH = 0,8T + T \frac{U}{500} \quad (2)$$

em que  $T$  representa a temperatura do ar e  $U$  a humidade relativa do ar.

O índice *WBGT*, Índice de Temperatura de Bolbo Húmido e de Temperatura de Globo (tradução do inglês Wet Bulb Globe Temperature Index), é um índice de avaliação de conforto térmico dos mais utilizados no Mundo. De acordo com Yaglou e Minard (1957), o índice *WBGT* foi desenvolvido pela Marinha dos Estados Unidos da América após uma investigação sobre acidentes por calor sofridos pelo pessoal militar. Funcionava como uma aproximação à Temperatura Efectiva Corrigida, mais complicada de determinar, modificada para ter em conta a absorção solar dos uniformes militares. Os valores limites de *WBGT* determinavam a ocorrência de treinos militares. Observou-se que os acidentes e o tempo perdido em interrupções à instrução militar se reduziram significativamente quando se utilizava o índice *WBGT* ao invés da temperatura do ar.

A norma que regulariza a determinação do índice *WBGT* é a ISO 7243 (1989) que define o nível de desconforto do ambiente em situações onde por razões técnico-económicas se torna impossível aplicar a norma ISO 7730 (2005). O índice *WBGT* é determinado através da expressão que é fornecida pela norma ISO 7243 (1989), ou seja para ambiente interior ou exterior sem radiação solar directa, a expressão a usar é

$$WBGT = 0,7T_{wn} + 0,3T_g \quad (3)$$

onde  $T_{wn}$  representa a temperatura do bolbo húmido com ventilação natural e  $T_g$  a temperatura do globo.

Em casos de ambientes heterogéneos, onde os parâmetros do espaço em redor do indivíduo não são constantes, o índice *WBGT* deverá ser calculado em três posições diferentes, representando o  $WBGT_c$  o nível da cabeça,  $WBGT_A$  o nível do abdómen e  $WBGT_T$  o nível do tornozelos da pessoa relativamente ao nível do solo.

Uma vez conhecido o valor do índice *WBGT* é possível, mediante comparação com valores de referência, determinar o nível de “stress” térmico a que o trabalhador está sujeito e, caso se justifique, limitar o seu tempo de exposição às condições térmicas que originam o “stress” térmico medido.

O índice *EsConTer* é baseado numa escala de cores (*Es*), por considerar a sensação de conforto (*Con*) e por ser térmica (*Ter*). O índice *EsConTer*, desenvolvido por Talaia e Simões (2009), baseia-se na informação da sensação térmica registada (o seu valor está limitado pelos extremos -3 e +3) e das temperaturas registadas (temperatura do ar e temperatura do termómetro molhado), e é avaliado usando a expressão,

$$EsConTer = -3,75 + 0,103(T + T_w) \quad (3)$$

onde  $T$  representa a temperatura do ar, registada no termómetro seco e  $T_w$  a temperatura molhada ou temperatura registada no termómetro molhado.

A aclimatização é o processo de adaptação fisiológica (essencialmente por variações do fluxo sanguíneo e ritmo cardíaco) que aumenta a tolerância do indivíduo a um dado ambiente térmico por um período longo. Em comparação com um indivíduo não aclimatizado, um indivíduo aclimatizado apresenta menores alterações fisiológicas sob a mesma carga térmica. A aclimatização é um processo necessário que deverá realizar ao longo de 9 a 12 dias (Martinet e Meyer, 1999), de forma gradual e progressiva.

### 3. Dados

Foram registados dados de 15min em 15min em duas salas operacionais de uma indústria. Uma sala estava condicionada com uma fonte de calor.

Foram registados dados exteriores às salas e consideraram-se para análise os seguintes parâmetros higrométricos; a temperatura do ar e a humidade relativa do ar.

A velocidade do ar foi considerada desprezável.

### 4. Resultados e discussão

A Figura 1 mostra um exemplo em que é indicada a variação do índice  $ITE$  ao longo de um dia.

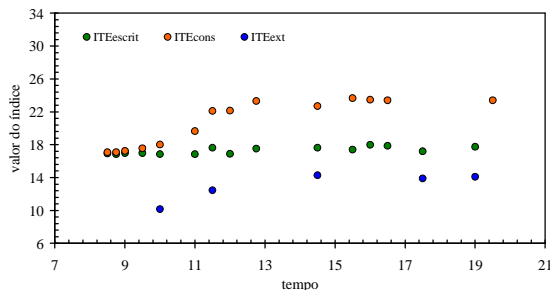


Fig. 1.-  $ITE$  no interior de salas operacionais e no exterior

A observação da Figura 1 mostra inequivocamente que após o “nascer do sol”, ou seja com presença de radiação solar a sensação térmica medida quer no interior das salas quer no exterior é influenciada, como era esperado. Na sala de controlo a presença de uma fonte térmica indicia que medidas de prevenção devem ser tomadas.

A Figura 2 mostra o resultado quando se aplica o índice  $ITH$ .

A observação visual das Figuras 1 e 2 mostra que os valores são concordantes, ou seja os resultados obtidos e informações retiradas quando se aplica o  $ITE$  são similares com os resultados e informações retiradas quando se aplica o  $ITH$ .

O  $ITE$  e o  $ITH$  mostram ter uma excelente correlação. Na prática, os resultados mostram que apenas um, à escolha do investigador, deve ser usado.

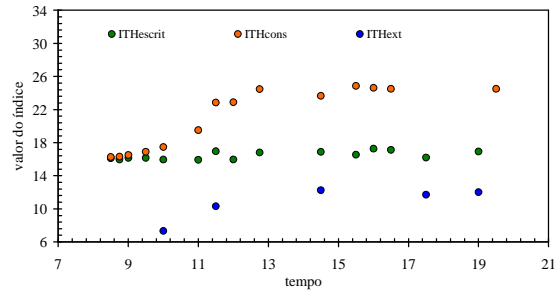


Fig. 2.-  $ITH$  no interior de salas operacionais e no exterior

A Figura 3 mostra o resultado a partir da aplicação do índice  $WBGT$ . A observação visual mostra, também neste caso, a excelente concordância entre métodos.

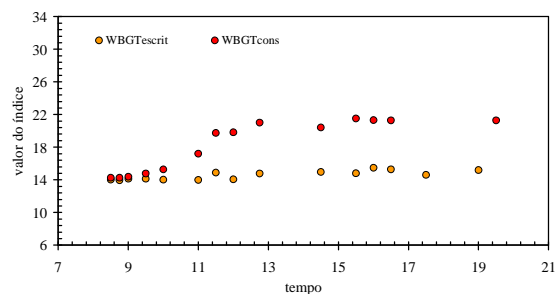


Fig. 3.-  $WBGT$  no interior de salas operacionais

A Figura 4 mostra a relação que existe entre os valores que se obtêm quando se aplica o índice  $ITH$  e índice  $ITE$ . O coeficiente de correlação é de 0.998.

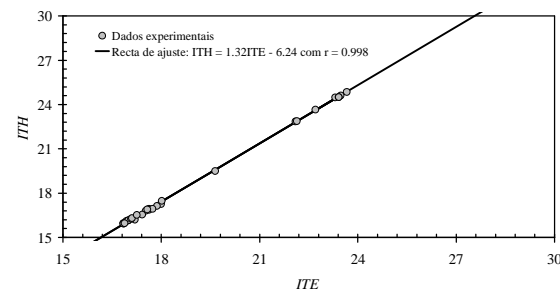


Fig. 4.- Correlação entre o  $ITE$  e  $ITH$

A Figura 5 mostra o resultado quando no mesmo gráfico se indicam os valores obtidos pelos diferentes índices.

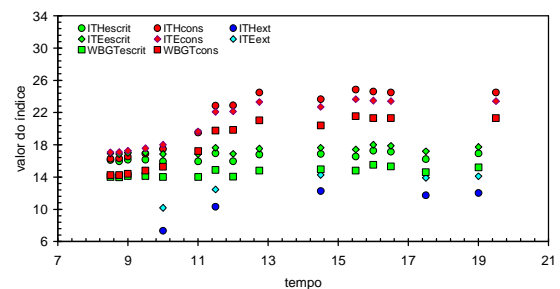


Fig. 5.- Informação com a aplicação de diferentes índices

A observação da Figura 5 mostra inequivocamente que os pontos de cor “vermelha” são posicionados a uma altura superior dos pontos de cor “verde” posicionados a uma altura inferior. Esta situação está de acordo com o esperado, de facto a sala operacional com presença de fonte de calor indicia maiores cuidados de prevenção.

Como complemento da informação obtida através da aplicação de índices térmicos, considerou-se interessante conhecer os resultados quando se aplica o diagrama da WMO (1987) como indicado na Figura 6.

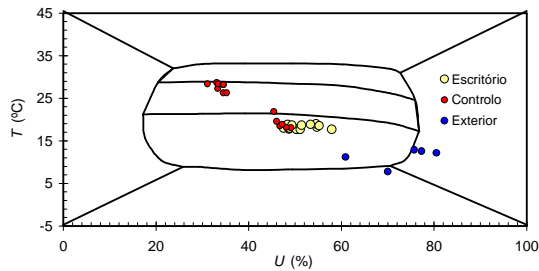


Fig. 6.- Os dados e o diagrama adaptado da WMO (1987)

A observação visual da localização de cada conjunto de dados registados, na Figura 6, mostra uma elevada coerência com os valores determinados através de índices térmicos. No notar, que as considerações e estratégias de intervenção para cada instante são semelhantes, o que valida a aplicação dos diferentes índices seleccionados.

Sendo o índice *EsConTer* de grande simplicidade de interpretação, apresentam-se os resultados obtidos na Figura 7.

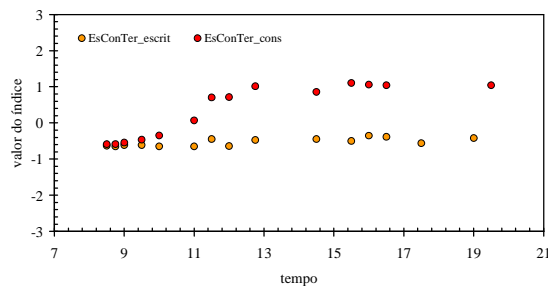


Fig. 7.- *EsConTer* no interior de salas operacionais

A observação atenta da Figura 7 mostra que a sala de controlo está numa situação de ligeiramente quente a quente, sugerindo que um sistema de ventilação poderá ser apropriado valorizar. Este resultado está em concordância com toda a informação registada anteriormente, o que valida o uso de qualquer índice apresentado neste estudo.

## 5. Considerações finais

Os resultados obtidos mostram que há um excelente acordo entre índices aplicados. A comparação dos dois locais investigados mostra que a presença de

uma fonte térmica suscita condições a tender para stress térmico, como era esperado.

Os resultados obtidos permitem a adopção de estratégias de intervenção que devem ser valorizadas pelo Departamento de Higiene e Segurança da unidade industrial. Medidas adequadas favorecem o aumento de índices de satisfação, intelectual, qualidade e produção

Estudos desta natureza são adequados e oportunos, devido a permitirem detectar zonas vulneráveis numa indústria.

## Bibliografia

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers – ASHRAE (2001). *Handbook of Fundamentals - Physiological Principles for Comfort and Health*, Chapter 8, Atlanta, pp. 1-32.

Butera, F.M. (1998). *Chapter 3 – Principles of thermal comfort*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 39-66.

Corleto, R. (1988). *The evaluating of Heat Stress indices using physiological comparisons in an alumina refinery in a sub-tropical climate*, Master Science Thesis, Faculty of Science and Technology at Deakin University, Geelong, Australia.

Davidovits, P. (2008). *Physics in Biology and Medicine*. Academic Press.

Houghten e Yaglou (1923). ASHVE Research Report No 673. *ASHVE Transactions* 29:361

Huang, J. (2006). Thermal parameters for assessing thermal properties of clothing. *Journal of Thermal Biology*, 31, 461–466.

ISO (International Organization for Standardization) 7243/1989, *Hot environments - Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT-index (wet bulb globe temperature)*, International Standardisation Organisation, Geneva, Suisse.

ISO (International Organization for Standardization) 7730/2005, *Ambiances thermiques modérées – Détermination des indices PMV et PPD et spécification des conditions de confort thermique*, International Standardisation Organisation, Genève, Suisse.

Kang, Z.J., Xue H. e Bong T.Y. (2001). Modeling of thermal environment and human response in a crowded space for tropical climate. *Building and Environment*, 36, 511–525.

Mário Talaia e Helena Simões (2009). *Alterações Climáticas e Bem-estar do Ser Humano*, Livro de resumos do 6º Simpósio de Meteorologia e Geofísica da APMG e 10º Encontro Luso-Espanhol de Meteorologia, Caparica, 16-18(03), 55.

Martens, W.J.M. (2006). *Climate change, thermal stress and mortality changes*. Elsevier Science Ltd, Vol. 46, No. 3, 331–334.

Martinet C. e Meyer J.P. (1999). *Travail à la chaleur et confort thermique*, [http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/intranetobject-accesparreference/ns%20184/\\$file/ns184.pdf](http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/intranetobject-accesparreference/ns%20184/$file/ns184.pdf) - Sítio Oficial do Institut National de Recherche et de Sécurité.

Mikani, C. e Amorim, M. (2005). *Características de temperatura e conforto térmico em ambiente urbano e rural: episódios de Verão*. In actas da VI Semana de Geografia: A Geografia e os paradigmas do século XXI, Faculdade de Ciências e Tecnologia da UNESP- Presidente Prudente, Brasil.

Nieuwolt, S. (1977). *Tropical climatology*. Wiley, London: Wiley

O'Neal, E.K. e Bishop, P. (2010). Effects of working a hot environment on repeated performances of multiple types of simple mental tasks. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 40(1), 77–81.

Riniolo, T.C. e Schmidt L.A. (2006). Chronic heat stress and cognitive development: An example of thermal conditions influencing human development. *Developmental Review*, 26, 277-290.

Seeley, R., Stephens, T.D. e Tate, P. (2001). *Anatomia e Fisiologia*. Lusodidacta, Lisboa.

Talaia, M.A.R. (2004). *O Conforto Humano e as Alterações Ambientais*, XXVIII Jornadas Científicas, La Meteorologia y El Clima Atlánticos, 5º Encuentro Hispano-Luso de Meteorologia: La Meteorologia y Climatologia en los Sectores Público y Privado, Badajoz, Espanha, 11-13 Fevereiro, pp. 79-80.

Thom, E.C (1959). The discomfort index. *Weatherwise*, 12 (1), pp. 57-60.

W.M.O. (1987). *World Climate Program Applications, Climate and Human Health*. World Meteorological Organization.

Zhao, J., Zhu, N. e Lu, S. (2009). Productivity model in hot and humid environment based on heat tolerance time analysis. *Building and Environment*, 44, 2202–2207.

Yaglou P. e Minard, D., Control of heart causalities at military training camps. *Am A Arch, Ind. Health*, 16 (1957) 302-316.