

# AMBIENTE TÉRMICO INTERIOR

## AVALIAÇÃO DE CONFORTO / DESCONFORTO

### CASO DE ESTUDO

Mário A.R. Talaia<sup>(1)</sup>, Helena Simões<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Departamento de Física, Centro de Investigação CIDTFF, Universidade de Aveiro  
Campus Santiago, 3810-193 Aveiro, Portugal, mart@ua.pt

<sup>(2)</sup> Departamento de Física, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, hits@ua.pt

#### 1. Introdução

Desde o início da Revolução Industrial que a Ciência contribuiu para o aperfeiçoamento do processo de produção e performance dos sistemas mecânicos associados a este.

Até meados do século XX, as condições de trabalho nunca foram consideradas fundamentais na investigação científica ligada à Indústria mesmo que tais implicassem riscos de doenças para os trabalhadores. Para tal contribuía dois factores, uma mentalidade em que o valor da vida humana era pouco mais valorizada comparando com os ganhos económicos e uma total ausência, por parte dos Estados, de leis que protegessem o operário.

A Indústria sempre teve, associada a si, uma vertente humana, todavia nem sempre esta foi tratada como sendo a sua componente mais relevante.

O estudo do ambiente térmico começou de forma a solucionar alguns problemas associados ao desempenho mecânico de determinados dispositivos industriais.

Fanger (1972) mostrou a importância ergonómica do estudo do ambiente térmico. Desde este trabalho, as investigações do estudo do conforto térmico têm sido frutíferas e caracterizadas por uma grande multidisciplinaridade, nomeadamente Engenharia, Meteorologia, Medicina, Arquitectura, Ergonomia, entre outras.

O estudo do conforto térmico tem uma forte importância económica. O controlo de parâmetros meteorológicos permite a optimização do ambiente térmico e conseqüentemente um incremento nos níveis de produção e satisfação. Várias pesquisas realizadas em laboratório e em campo têm sido desenvolvidas de forma a demonstrar a relação entre o conforto térmico e o desempenho do trabalhador.

Embora os resultados destas actividades experimentais não tenham conduzido a conclusões definitivas, mostraram claramente a tendência do desconforto proporcionado por ambientes quentes ou frios reduzir o desempenho do trabalhador (Krüger *et al.*, 2001).

No entanto é necessário enfatizar o carácter social do estudo desta temática.

O conforto térmico não deve ser analisado de forma a ter como “*pano*” de fundo uma perspectiva economicista.

O conforto térmico é antes de mais um problema de saúde pública e deverá ser analisado desta forma.

São objectivos deste trabalho avaliar o ambiente térmico de um restaurante em três divisões diferentes (cozinha, balcão e sala de pausa).

#### 2. Conjunto de dados

Foi usado diverso equipamento para a avaliação de conforto / desconforto.

Foram registadas: temperatura do ar, temperatura do termómetro de globo e humidade relativa do ar.

Foi registado um conjunto de dados diários a diferentes horas, durante o mês de Janeiro de 2010.

A amostra de sete intervenientes foi constituída por três mulheres e quatro homens.

Numa escala de cores foi registada a sensação térmica. O tipo de vestimenta foi valorizado.

#### 3. Índices de Conforto / Desconforto

Foram aplicados os seguintes índices.

O índice *ITM*, designado Índice de Temperatura e Humidade (tradução do inglês Temperature Humidity Index), foi inicialmente desenvolvido por Thom (1959) e combinava a temperatura do termómetro de bolbo molhado,  $T_{wm}$  (°C), com a temperatura do ar,  $T$  (°C).

Nieuwolt (1977) modificou o índice *ITM* estabelecido por Thom (1959) usando a temperatura do ar,  $T$  (°C), e a humidade relativa,  $HR$  (%).

Esta alteração teve como objectivo facilitar a sua aplicação e avaliação visto que os valores da humidade relativa do ar estão, de uma maneira geral, frequentemente disponíveis (em face da temperatura do termómetro de bolbo húmido ou termómetro molhado ou termómetro húmido).

Segundo, Nieuwolt (1977), o índice *ITM* é calculado a partir da expressão

$$ITM = 0,8T + T \frac{HR}{500} \quad (1)$$

em que  $T$  representa a temperatura do ar (°C) e  $HR$  a humidade relativa do ar (%).

Através de testes empíricos, Nieuwolt (1977) estabeleceu valores de referência que delimitam situações de conforto e stress térmico para seres humanos.

O índice *WBGT*, designado Índice de Temperatura de Bolbo Húmido e de Temperatura de Globo (tradução do inglês Wet Bulb Globe Temperature Index), é um dos mais utilizados índice de avaliação de conforto térmico 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* determinam situações que devem ser consideradas para 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*, para ambientes interiores, é determinado através da expressão,

$$WBGT = 0,7T_{wn} + 0,3T_g \quad (2)$$

em que  $T_{wn}$  representa a temperatura do bolbo húmido com ventilação natural (°C) e  $T_g$  a temperatura de globo (°C).

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.

O valor do índice *WBGT* médio é então calculado pela expressão ponderada

$$WBGT = \left( \frac{WBGT_C + 2WBGT_A + WBGT_T}{4} \right) \quad (3)$$

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.

A aclimatização é um 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 realizar-

se-á ao longo de 9 a 12 dias, de forma gradual e progressiva (Martinet e Meyer, 1999).

Importa desde já referir que a criação de condições que permitam a redução do índice *WBGT* exige uma caracterização detalhada do ambiente térmico do local em questão. Caso contrário, corre-se o risco de intervir num sentido que não é o mais adequado (ex.: instalar um sistema de climatização / ventilação para baixar a temperatura do ar no interior de uma nave industrial quando a origem do “stress” térmico está relacionada com elevadas temperaturas de superfície).

O índice *EsConTer*, por ser baseado numa escala de cores (Es), por considerar a sensação de conforto (Con) e por ser térmico (Ter), foi também aplicado (Mário Talaia e Helena Simões, 2009). A sua aplicação, em ambientes interiores, tem mostrado uma excelente concordância com a sensação térmica de cada indivíduo.

Para a aplicação do índice *EsConTer* é suficiente conhecer a sensação individual através de uma grelha de cores (baseada na Norma ISO 7730), a temperatura do ar e a temperatura do termómetro molhado do local.

A escala de cores é semelhante à escala sétima da ASHRAE (2001, 2004). O ambiente pode ser ajustado pelos indivíduos, através de estratégias de prevenção, ou seja levado para um ambiente termicamente neutro (Charles, 2003).

A escala sétima de ASHRAE (2001, 2004) é simétrica em relação ao ponto “0”, que corresponde ao conforto térmico e apresenta valores de 1 a 3 que podem ser positivos, correspondendo às sensações de calor, ou negativos, correspondendo às sensações de frio. A Figura 1 mostra a escala usada para a criação da escala de cores.



Fig. 1.- Escala sétima da ASHRAE (2001, 2004)

O índice *EsConTer* é avaliado através da expressão,

$$EsConTer = -3,75 + 0,103(T + T_w) \quad (4)$$

Neste trabalho foi também aplicado um diagrama de duas entradas (temperatura do ar e humidade relativa do ar) com indicação de estratégias de intervenção para tornar um ambiente termicamente confortável (W.M.O., 1987).

#### 4. Análise de resultados

A partir do conjunto de dados registados avaliaram-se os diferentes índices.

Foi necessário avaliar a temperatura do termómetro molhado para cada leitura registada.

Com o objectivo de conhecer a relação entre índices e investigar a coerência da sua aplicação em termos de estratégias a tomar, avaliou-se a sua correlação. A Figura 2 mostra a relação encontrada entre o *WBGT* e *ITH*. Em termos estatísticos a variância é significativa, como seria esperada.

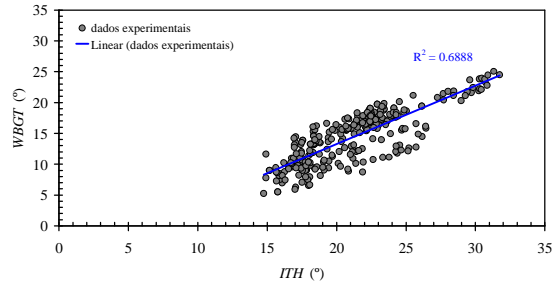


Fig. 2.- Relação entre índices: *ITH* e *WBGT*

A observação da Figura 2 mostra um coeficiente de correlação de 0.83. Alguma dispersão dos pontos em face da linha de tendência pode ter a ver com a maneira em que são calculados estes índices. Também parece sugerir alguma diferença de estratégia de intervenção. No entanto não deve ser desvalorizado o facto de se ter trabalhado com uma amostra de indivíduos considerada heterogénea. A relação de *EsConTer* com *ITH* e *WBGT* foi também investigada. A Figura 3 mostra o resultado obtido para a relação entre *ITH* e *EsConTer*.

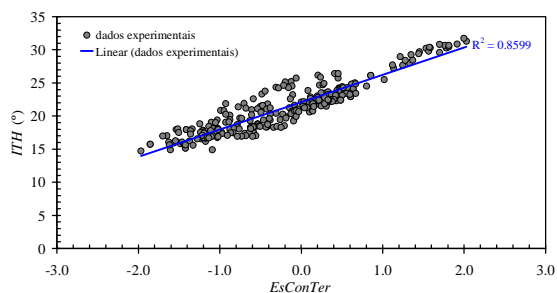


Fig. 3.- Relação entre índices: *ITH* e *EsConTer*

A Figura 3 indica um coeficiente de correlação de 0.93. É muito interessante como o índice *EsConTer* de fácil tratamento e de interpretação (dispensa consulta a tabelas ou quadros de referência como são os casos de *ITH* e *WBGT*) indicia a situação do ambiente interior. A pequena dispersão dos pontos em face da linha de tendência pode ser justificada pela heterogeneidade da amostra. A observação visual mostra de forma inequívoca que foram registadas condições de frio e de quente a merecerem estratégias de intervenção (aquecimento e ventilação). Pode-se considerar que a grande percentagem de resultados obtidos estão próximos do intervalo de conforto (-0.5 a +0.5). Na Figura 4 mostra-se a relação entre *WBGT* e *EsConTer*. O valor do coeficiente de correlação é de

0.98. As considerações retiradas da Figura 4 podem ser aceites com maior significado.

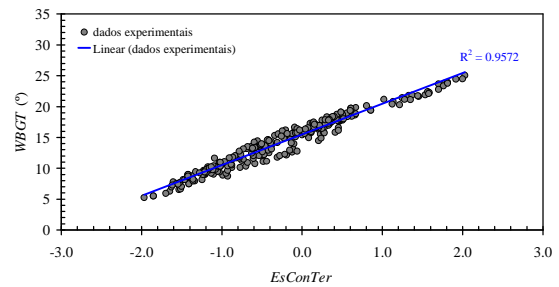


Fig. 4.- Relação entre índices: *WBGT* e *EsConTer*

De facto, a observação visual da Figura 4 mostra de forma inequívoca que a aplicação de *EsConTer* está em concordância com *WBGT*. Deve-se desde já concluir que as estratégias de intervenção de *ITH* e *WBGT* estão em concordância com a informação de *EsConTer*. É de valorizar a forte contribuição que *EsConTer* oferece para se adoptar estratégias de intervenção para ambientes interiores usando como instrumentos de medida dois termómetros (seco e molhado) através da utilização de um psicrómetro. A Figura 5 mostra o diagrama da World Meteorological Organization (WMO, 1987) para o conjunto de registos nas diferentes áreas de estudo. Cada cor representa uma área. A cor vermelha indica a área da cozinha, a cor amarela a área do balcão e a cor esverdeada a área de sala e pausa.

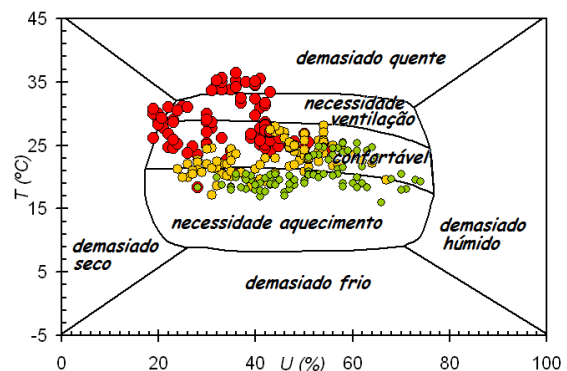


Fig. 5.- Diagrama da W.M.O. (1987)

A observação visual da Figura 5 mostra de forma inequívoca que as considerações retiradas anteriormente são correctas e adequadas. Na prática, a cozinha é a área onde há necessidade de ventilação, como esperado. De notar que na área do balcão há condições de conforto. A sala e pausa é uma área de condições algo desconfortáveis, a necessitar de intervenção de aquecimento. A verdade é que os dados foram registados durante Janeiro e o ambiente interior é condicionado pelas condições atmosféricas exteriores. As conclusões obtidas anteriormente em relação a condições de frio e quente são corroboradas pelo diagrama da World Meteorological Organization.

Nas Figuras 6 a 8 mostra-se a evolução das linhas de cada índice para cada área de estudo.

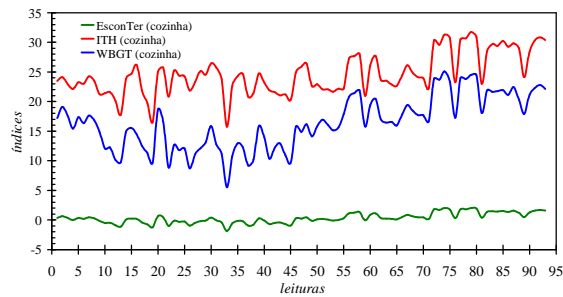


Fig. 6.- Índices registados na cozinha

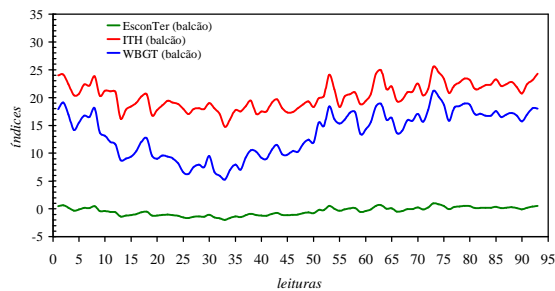


Fig. 7.- Índices registados no balcão

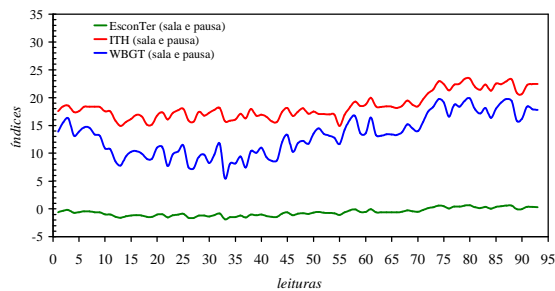


Fig. 8.- Índices registados na sala e pausa

As linhas de cada índice (cor verde para *EsConTer*, cor azul para *WBGT* e cor vermelha para *ITH*) mostram uma excelente coerência de informação.

Confirmam, como seria esperado, que é na cozinha que é suscitada sensação de quente e é na sala e pausa onde é iniciada a possibilidade de sensação de frio. Também é digno de nota que a alteração de parâmetros meteorológicos condiciona a sensação térmica.

Conforme já referido o índice *EsConTer* parece ser um instrumento a valorizar para ambientes interiores. Nesta perspectiva o gráfico indicado na Figura 9 parece oportuno.

A evolução da linha para cada área mostra que *EsConTer* é um índice que deve ser valorizado para as estratégias a adoptar.

Os valores negativos na vizinhança do algarismo dois (frio) devem ser valorizados como a presença de uma necessidade de aquecimento e os valores positivos na vizinhança do algarismo dois (quente) também devem ser valorizados como uma presença de uma necessidade de ventilação.

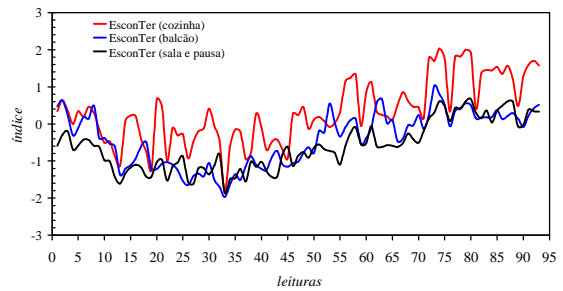


Fig. 9.- *EsConTer* nas diferentes áreas de estudo

## 5. Considerações finais

A investigação levada a efeito permitiu concluir, como seria esperado, que as condições atmosféricas exteriores afectam a performance de um ambiente interior.

Os resultados obtidos permitiram conhecer as sensações de conforto e desconforto ao longo do período de análise para três locais diferentes de um local público. Para cada local foram discutidas e sugeridas estratégias de intervenção capazes de melhorar o ambiente circundante de pessoas.

Os resultados obtidos mostraram que diferentes índices suscitam considerações similares e que há uma excelente coerência nos índices aplicados.

O diagrama da World Meteorological Organization parece ser simples de utilização e com indicações objectivas acerca da melhoria do ambiente. É um diagrama que deve ser valorizado.

O índice *EsConTer*, desenvolvido pelos autores, prevê com segurança a sensação térmica de um indivíduo. Pela sua fácil utilização parece ser recomendado. Estudos adicionais para diferentes locais e diferentes ambientes térmicos interiores seriam oportunos.

Na problemática actual de alterações climáticas, em que o aquecimento global é aceite (IPCC, 2001; IPCC, 2007), *EsConTer* é mais um instrumento que deve ser valorizado.

## Referências

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

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers – ASHRAE 55 (2004). *Standards ASHRAE 55, Thermal environmental conditions for human occupancy*, ISBN/ISSN: 1041-2336, 35.

Charles, K. (2003). *Fanger's Thermal Comfort and Draught Models*, 10 de Outubro, disponível em <http://irc.nrc-crnc.gc.ca/ircpubs>.

Fanger, P (1972). *Thermal Comfort*. 2ª Edição. McGraw-Hill, New-York.

IPCC (2001). *Intergovernmental Panel on climate change Technical Summary*. A Report Accepted by Working Group I, wgI\_ts.pdf. Acedido em 19 de Novembro de 2004, em: <http://www.ipcc.ch/pub/wg1TARtechsum.pdf>.

IPCC (2007). *Climate change 2007: the physical science basis summary for policymakers*. Intergovernmental Panel on Climate Change. Paris: IPCC, Working Group I.

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

Krüger, E., Dumke, E. e Michaloski, A. (2001). *Sensação de Conforto Térmico: respostas dos Moradores da Vila Tecnológica de Curitiba*, VI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, Anais do VI ENCAC (CD-ROM), São Pedro – São Paulo, Brasil, UNICAMP/UFSCar /Associação Nacional de tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC), Volume 1, 1-7.

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, de 16 a 18 de Março, 55.

Martinet C. e Meyer J.P. (1999). *Travail à la chaleur et confort thermique*, [Versão electrónica], disponível em [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) – Sitio Oficial do Institut National de Recherche et de Sécurité (última visita: 03/07/2006)

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

Thom, E.C. (1959). The Discomfort Index. *Weatherwise*, 12 (1), 57-60.

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

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