

ARTIGO REF: 6795

SENSAÇÃO TÉRMICA CONDICIONADA POR PARÂMETROS TERMOHIGROMÉTRICOS E ISOLAMENTO TÉRMICO DO VESTUÁRIO

Mário Talaia^(*)

Universidade de Aveiro, Departamento de Física (CIDTFF), Aveiro, Portugal

^(*)*Email:* mart@ua.pt

RESUMO

Neste trabalho é investigada a sensação térmica real indicada por um ser humano, a sensação térmica prevista para um local através da aplicação do índice EsConTer, o isolamento térmico do vestuário usado e o isolamento térmico do vestuário previsto.

Uma coleção de dados foi registada e examinada para ambiente térmico e para um metabolismo de atividade sedentária (escritório, moradia, escola, laboratório) com $70\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ou $1,2\text{met}$.

Os resultados obtidos mostram que quando o ser humano está inserido num ambiente de sensação térmica quente e usa um isolamento térmico de vestuário acima do previsto regista uma sensação de muito quente e quando está inserido num ambiente de sensação térmica frio e usa um isolamento térmico de vestuário abaixo do previsto sente uma sensação térmica de muito frio.

É apresentado um modelo de previsão de isolamento térmico de vestuário para uma atividade sedentária e os resultados obtidos são interpretados com base na previsão da sensação térmica para o ambiente térmico.

1. INTRODUÇÃO

O ambiente térmico desempenha um papel importante no melhoramento das condições de trabalho. De acordo com a American Society of Heating Refrigeration and Air Conditions (ASHRAE), o conforto térmico pode ser definido como *o estado de espírito em que o indivíduo expressa satisfação em relação ao ambiente térmico*. Este estado é obtido quando um indivíduo está numa condição de equilíbrio com o ambiente que o rodeia, o que significa que é possível a manutenção da temperatura dos tecidos constituintes do corpo, num domínio de variação estrito, sem que haja um esforço sensível. Esta é a situação ideal, que corresponde a um ambiente neutro ou confortável. Fora deste ambiente pode haver alterações fisiológicas no ser humano (ASHRAE, 2001).

Um ambiente térmico pode ser designado como o conjunto de variáveis térmicas que influenciam as trocas de calor entre o ser humano e o ambiente que o rodeia. A International Organization for Standardization (ISO) considera o conforto térmico como *a satisfação expressa quando um indivíduo é sujeito a um determinado ambiente térmico* (ISO 7730, 2005).

Por outro lado, segundo a ASHRAE 55 (ASHRAE, 2004) o ambiente térmico é designado com as características do ambiente que afetam a perda de calor de uma pessoa. Uma interação

complexa da temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade do ar e umidade relativa do ar condiciona a *performance* de um ambiente térmico humano (Liu, Yao, Wang & Li, 2012). Estes autores mostraram como a temperatura do ar influencia o isolamento térmico do vestuário usado, em unidades de clo, na dinâmica das estações ao longo do ano.

É sabido que os ambientes térmicos estão divididos em dois tipos, ambiente térmico quente, quando o organismo humano tem necessidade de acionar meios de luta contra o calor (stress térmico provocado pelo calor) e ambiente térmico frio, quando o organismo de uma pessoa tem necessidade de desencadear mecanismos de luta contra o frio (stress térmico provocado pelo frio) (ver por exemplo, Lamberts, 2011).

O vestuário é uma camada de isolamento térmico entre o corpo e o ambiente. O isolamento do vestuário, expresso em unidades de clo, foi introduzida para facilitar a visualização do nível do vestuário, sendo que 1clo representa $0,155\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C}\cdot\text{W}^{-1}$ (Fanger, 1972; ISO 7730, 2005). O isolamento total do vestuário deve ser obtido a partir da soma das contribuições dos artigos ou peças individuais do vestuário utilizado.

A literatura da especialidade mostra que para um ambiente térmico as sensações térmicas são subjetivas, isto é, dependem de cada indivíduo. Pode-se afirmar que a sensação térmica de cada indivíduo depende do vestuário usado, da idade, do sexo, da massa corporal, do estado psíquico, do estado de saúde, da adaptação, da sazonalidade, do ritmo cardíaco e da atividade desenvolvida. O tipo de vestuário usado condiciona a sensação térmica real de um indivíduo (Talaia & Rodrigues, 2008).

Para cada tipo de atividade que condiciona o metabolismo deveria ser estabelecido o tipo de vestuário a ser usado. Se o vestuário não for o mais apropriado, a sensação de desconforto será evidenciada. A problemática da caracterização de um ambiente térmico tem sido estudada por inúmeros autores [ver por exemplo, Talaia & Rodrigues (2008); Talaia & Simões (2009); Talaia (2013); Talaia, Meles & Teixeira (2013); Talaia & Silva (2010); Talaia & Silva (2011); Talaia & Silva (2014); Morgado, Talaia & Teixeira (2015), Talaia & Vigário (2016), Talaia (2016), ...].

Krüger *et al.* (2001) mostraram que com o desenvolvimento de pesquisas em torno da Ergonomia surgiu a necessidade de avaliar o efeito do “clima” no posto de trabalho e no operador humano.

Segundo Fanger (1972), o conforto térmico envolve variáveis físicas ou ambientais e, também, variáveis subjetivas ou pessoais. As variáveis físicas que influenciam o conforto térmico são a temperatura do ar, a temperatura média radiante, a umidade relativa do ar e a velocidade relativa do ar. As variáveis pessoais envolvidas e consideradas são a atividade desempenhada pelo indivíduo (indicativa da quantidade de calor produzida pelo organismo, e apresentada sob a forma de taxa metabólica) e o vestuário usado pelo indivíduo (indicativa da resistência térmica oferecida às trocas de calor entre o corpo e o ambiente, e apresentada sob a forma de isolamento térmico das roupas).

Frota e Schiffer (1995) descrevem que os primeiros trabalhos desenvolvidos em 1916, pela Comissão Americana de Ventilação, confirmaram que para trabalhos físicos e quando a temperatura aumenta de 20°C para 24°C o rendimento de trabalho diminui cerca de 15% e para uma temperatura ambiente de 30°C e uma umidade relativa do ar de cerca de 80% o rendimento diminui cerca de 28%.

Este trabalho tem como objetivo mostrar que um ambiente térmico condiciona a sensação térmica de um indivíduo e que esta problemática está ligada ao isolamento térmico do vestuário usado. É investigada a sensação térmica real indicada por um ser humano, a

sensação térmica prevista para um local através da aplicação do índice EsConTer, o isolamento térmico do vestuário usado e o isolamento térmico do vestuário previsto. Um modelo de previsão de isolamento térmico de vestuário para uma atividade sedentária é usado.

MÉTODOS

Neste trabalho através do registo de dados termohigrométricos, de uma escala de sensação térmica de cores, de um índice térmico para prever a sensação térmica e de um modelo desenvolvido com os dados deste trabalho avaliou-se como o tipo de ambiente térmico influencia a sensação térmica real que é condicionada pelo tipo de vestuário usado e definido pelo isolamento térmico a partir dos materiais ou fibras usadas na confeção.

Os dados para uma atividade sedentária foram registados a céu aberto com ausência de vento e a céu fechado (escritório, moradia, escola, laboratório). Foi usado um equipamento de medida de dados termohigrométricos, usando o instrumento Center 317 - temperature humidity meter.

Para a sensação térmica real foi usada uma escala térmica de cores, desenvolvida por Talaia & Rodrigues (2008), como se mostra na Figura 1 onde se marcava com uma (X) a sensação que era sentida no momento da observação.

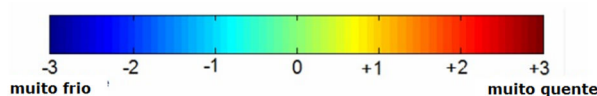


Fig. 1 - Escala térmica de cores (Talaia e Rodrigues, 2008)

Para avaliar a sensação térmica prevista do ambiente térmico foi usado o índice térmico EsConTer (Talaia e Simões, 2009; Morgado, Talaia e Teixeira, 2015), cujo valor é calculado através da aplicação da expressão

$$\text{EsConTer} = -3,75 + 0,103(T + T_w) \quad (1)$$

em que T representa a temperatura do ar (°C) e T_w a temperatura do termómetro húmido (°C).

O índice EsConTer determina um valor da escala sétima de sensação térmica, é de fácil cálculo matemático e de fácil interpretação. O valor de EsConTer situa-se na gama de -3 (ambiente térmico muito frio) a +3 (ambiente térmico muito quente).

Um modelo desenvolvido a partir da coleção de dados foi usado para prever o isolamento térmico do vestuário (unidades de clo) e para uma atividade sedentária (escritório, moradia, escola, laboratório) com um metabolismo de 70W.m^{-2} ou 1,2met, expresso por,

$$\text{Isol. TérmicoVestuárioPREVISTO} = -0,799\text{EsConTer} - 0,341 + 0,082T_w \quad (2)$$

RESULTADOS E SUA DISCUSSÃO

Os dados registados na escala térmica de cores e os dados termohigrométricos foram considerados para diferentes ambientes térmicos, nomeadamente quentes, neutros e frios.

Para cada situação foi prevista a sensação térmica usando o índice EsConTer através da aplicação da expressão (1) e foi determinado o isolamento térmico do vestuário previsto por

aplicação da expressão (2). Também foi registada informação acerca do tipo de vestuário e se era desejável ter mais ou menos roupa para se registar uma sensação térmica confortável.

A Figura 2 mostra como a sensação térmica (prevista ou registada - real) é influenciada pela temperatura do ar. Os círculos de cor vermelha representam a sensação térmica prevista pelo índice EsConTer e os círculos de cor azul a sensação térmica real do indivíduo. As linhas de tendência mostram haver concordância com valores significativos (estatisticamente falando a variância regista valores acima de 0,91).

A observação da Figura 2 mostra, inequivocamente, que o índice EsConTer é um excelente preditor da sensação térmica de um ambiente térmico quando se conhecem parâmetros termohigrométricos.

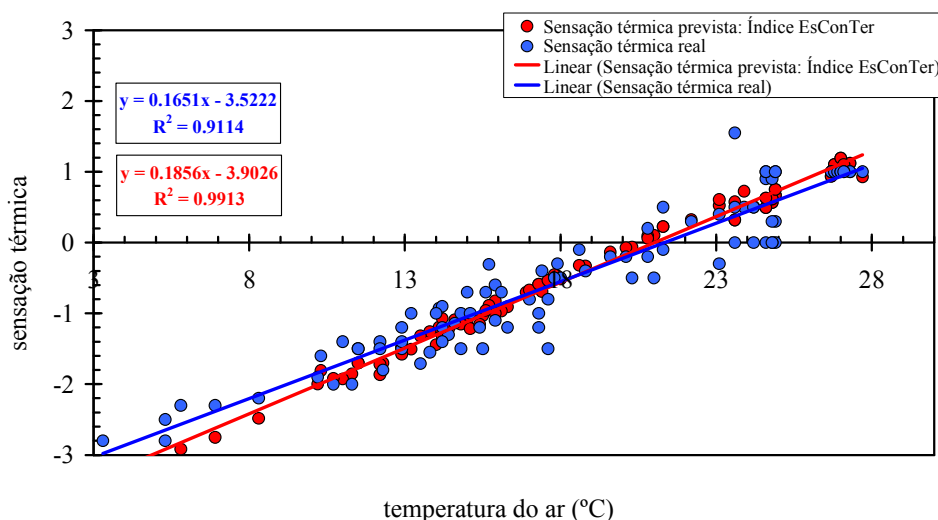


Fig. 2 - Sensação térmica real e prevista (EsConTer) função da temperatura do ar.

Na Figura 3 os círculos de cor verde representam os dados experimentais deste trabalho e a linha a cheio e a negro a tendência teórica entre os dois isolamentos térmicos do vestuário (usado e previsto). A observação atenta da localização dos dados experimentais deste trabalho mostra que na maioria dos casos o vestuário foi insuficiente suscitando uma sensação térmica de desconforto ao frio.

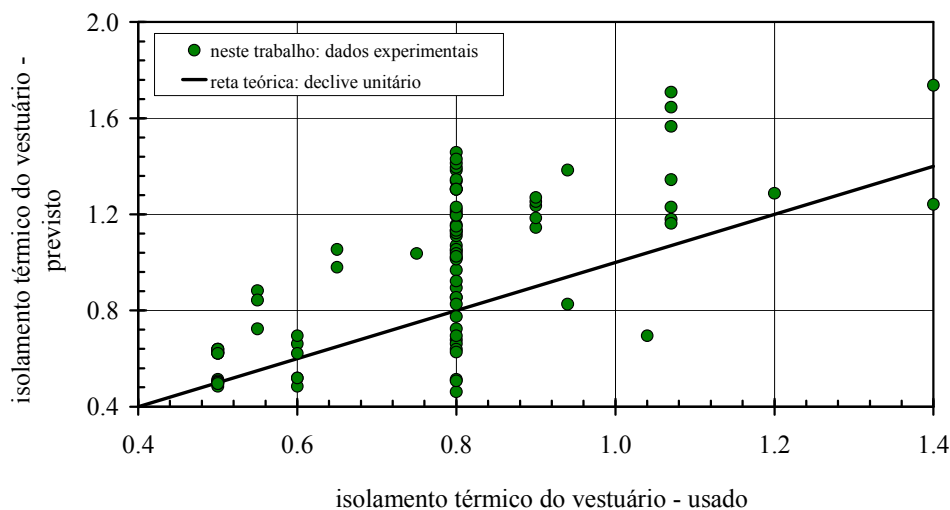


Fig. 3 - Isolamento térmico previsto “versus” isolamento térmico usado.

Na Figura 4 são mostradas duas imagens que permitem interpretar fisicamente como a sensação térmica, usada ou prevista, influencia o isolamento térmico do vestuário. Dado o índice EsConTer ser um bom preditor, as imagens são semelhantes e concordantes. Esta conclusão é evidenciada na Figura 5 onde os círculos de cor azul são os dados experimentais, a reta teórica de cor negra declive unitário quando os valores são coincidentes e a reta de ajuste de cor vermelha com um declive 0,8847 com um coeficiente de correlação de Pearson de 0,9540.

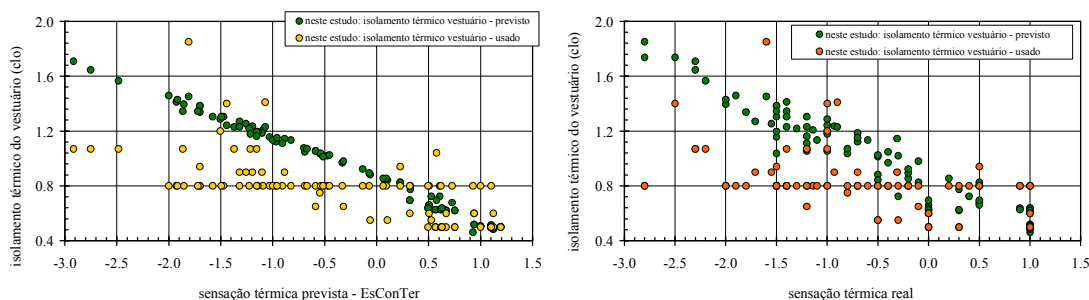


Fig. 4 - Sensação térmica prevista e real é condicionada pelo isolamento térmico do vestuário.

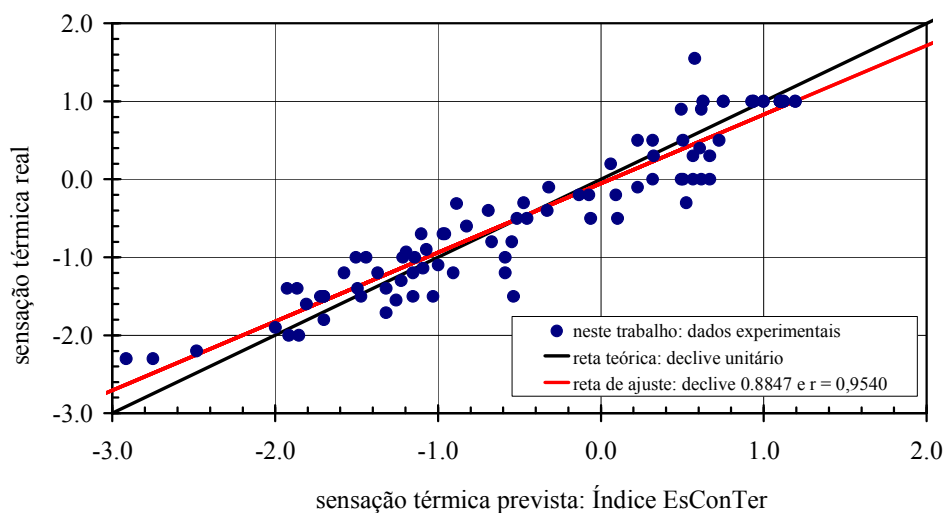


Fig. 5 - Sensação térmica real “versus” sensação térmica prevista.

A Figura 6 mostra uma linha reta de cor negra que indicia a previsão do isolamento térmico do vestuário para um ambiente térmico confortável. De acordo com Liu *et al.* (2012), os triângulos, na figura, de cor azul céu representam dados registados durante a primavera, de cor vermelha representam dados registados durante o verão, de cor amarelo-torrado representam dados registados durante o outono e de cor azul representam dados registados no inverno. Ainda na figura, os círculos indicam resultados neste trabalho em que os de cor verde representam o isolamento térmico do vestuário desejado e os de cor cinza representam o isolamento térmico do vestuário usado.

A observação da Figura 6 mostra, inequivocamente, que o modelo sugerido neste trabalho para prever o isolamento térmico do vestuário sugere valores, para temperaturas mais baixas e inferiores a cerca de 15°C, superiores ao valores registados por Liu *et al.* (2012). Esta discrepância pode-se justificar pela diferença das variáveis que o autor deste trabalho considera (sensação térmica e temperatura do termómetro húmido) face à temperatura do ar que Liu *et al.* (2012) assumem. De facto, neste trabalho para a caracterização de um ambiente

térmico são incluídas a temperatura do ar e a humidade relativa do ar, sendo esta condicionada pela temperatura do ar, temperatura de ponto de orvalho (Talaia & Vigário, 2015) e temperatura do termómetro húmido.

No geral pode-se concluir, pela observação da Figura 6, que o vestuário usado era insuficiente face ao ambiente térmico, o que suscita um vestuário desejado com maior clo e uma sensação térmica real de desconforto, no momento do registo de dados.

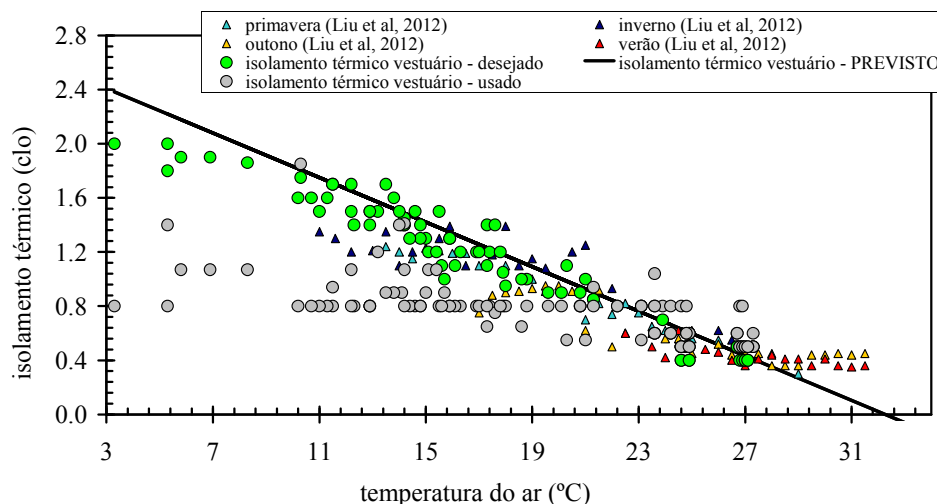


Fig. 6 - Isolamento térmico do vestuário “versus” temperatura do ar.

A Figura 7 mostra como é influenciada a sensação térmica e o isolamento térmico do vestuário face a temperatura do ar. Na figura a linha a cheio de cor azul representa a previsão do isolamento térmico do vestuário, os círculos de cor azul claro o isolamento térmico do vestuário requerido, os triângulos a negro o isolamento térmico do vestuário usado, os losangos de cor vermelha a sensação térmica prevista pelo índice EsConTer e os losangos de cor verde a sensação térmica real.

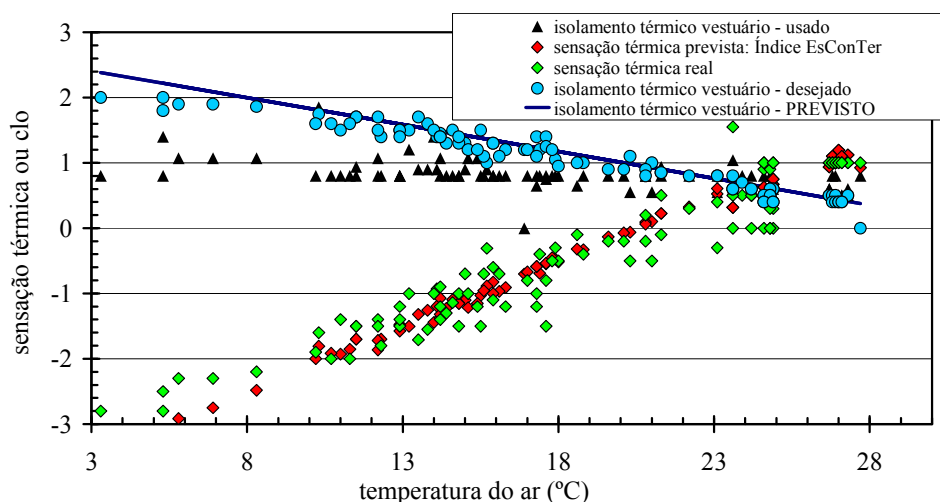


Fig. 7 - Sensação térmica ou isolamento térmico “versus” temperatura do ar.

A observação da Figura 7 mostra, inequivocamente, como seria esperado, que há uma relação inversa entre a sensação térmica e o isolamento térmico do vestuário. Também, a observação da figura, sugere que a interseção entre as duas tendências (sensação térmica e isolamento térmico do vestuário) é a otimização do bem-estar em termos de conforto térmico para uma

atividade sedentária (escritório, moradia, escola, laboratório) e para um metabolismo de 70W.m^{-2} ou $1,2\text{met}$. Face a observação da figura, serão necessários dados para ambientes térmicos com temperatura do ar acima dos 28°C , para filtrar e redefinir o modelo de previsão deste trabalho do isolamento térmico do vestuário e a ser usado função do tipo de ambiente térmico.

CONCLUSÕES

Foi possível mostrar que a sensação térmica registada num ambiente térmico depende dos parâmetros termohigrométricos que definem o índice térmico de previsão (EsConTer) e do tipo de vestuário usado através do seu isolamento térmico, em unidades de clo.

A coleção de dados registada e para um metabolismo de atividade sedentária (escritório, moradia, escola, laboratório) com 70W.m^{-2} ou $1,2\text{met}$, mostrou que o índice agora analisado para prever o isolamento térmico do vestuário a usar depende do tipo de ambiente térmico e que situações com temperaturas superiores a 28°C são oportunas para novos estudos e para correção, eventual, do índice.

Os resultados obtidos mostraram que quando o ser humano está inserido num ambiente de sensação térmica quente e usa um isolamento térmico de vestuário acima do previsto regista uma sensação de muito quente e quando está inserido num ambiente de sensação térmica frio e usa um isolamento térmico de vestuário abaixo do previsto sente uma sensação térmica de muito frio.

AGRADECIMENTOS

O autor agradece o suporte financeiro concedido pela FCT, trabalho financiado por Fundos Nacionais através da FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P., no âmbito do projeto UID/CED/00194/2013.

REFERÊNCIAS

- [1]-ASHRAE, Handbook of Fundamentals - Physiological Principles for Comfort and Health. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Chapter 8, Atlanta, (2001) 1-32.
- [2]-ASHRAE 55, Thermal environmental conditions for human occupancy. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Atlanta: Ashrae, (2004).
- [3]-Fanger, P., Thermal Comfort. 2ª Edição, McGraw-Hill, New-York, (1972).
- [4]-Frota, A.B. & Schiffer, S.R., Manual de Conforto Térmico. São Paulo. Nobel, (1995).
- [5]-ISO 7730, Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of the thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. International Organization for Standardization, Genève, Switzerland, (2005).
- [6]-Krüger, E., Dumke, E. & Michaloski, A., Sensação de conforto térmico: respostas dos moradores da Vila Tecnológica de Curitiba. VI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente

Construído, Anais do VI ENCAC, São Pedro - São Paulo, Brasil, UNICAMP/UESCar/Assoc. Nacional de tecnologia do Ambiente Construído, Vol. 1 (2001) 1-7.

[7]-Lamberts, R., Conforto e Stress Térmico. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, (2011).

[8]-Liu, J., Yao, R., Wang, J., & Li, B., Occupants' behavioural adaptation in workplaces with non-central heating and cooling systems. *Applied Thermal Engineering*, 35 (2012) 40-54.

[9]-Morgado, M., Talaia, M. & Teixeira, L., A new simplified model for evaluating thermal environment and thermal sensation: An approach to avoid occupational disorders. *International Journal of Industrial Ergonomics*, (2015) 1-11.

[10]-Talaia, M., Riscos no local de trabalho - ambiente térmico quente. Riscos naturais Antrópicos e Mistos. In Departamento de Geografia, Faculdade de Letras, Universidade de Coimbra (Ed.). Homenagem ao professor Fernando Rebelo, (2013) 555-567.

[11]-Talaia, M., Riscos para a saúde num ambiente térmico frio: o vestuário e uma onda de frio. *Territorium*, 23 (2016) 43-50.

[12]-Talaia, M., Meles, B. & Teixeira, L., Evaluation of the Thermal Comfort in Workplaces - a Study in the Metalworking Industry. *Occupational Safety and Hygiene*. Editors Arezes et al. Taylor & Francis Group, London, (2013) 473-477.

[13]-Talaia, M. & Silva, M., Relationships between the thermal comfort and education. In J. P. Meyer (Ed.), HEFAT2010 Proceedings - 7th International Conference on Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics (pp. 295-300). Antalya, Turquia, (2010).

[14]-Talaia, M. & Silva, M., Conforto Térmico - Implicações no Processo de Ensino e Aprendizagem de Alunos. Proceedings 6º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia e 3º Congresso de Engenharia de Moçambique (artigo CLME'2011_2803A, 13 páginas). Maputo, 29 de Agosto a 2 de Setembro. M., (2011).

[15]-Talaia, M. & Silva, M., Aprendizagem condicionada pelo ambiente térmico da sala de aula. In AME AEMET Ed.). *Tiempo, Clima y Sociedad - Proceedings of XXXIII Jornadas Científicas da AME & 15º Enc. Hispano-Luso de Meteorología* (4 páginas). Oviedo, Espanha, (2014).

[16]-Talaia, M. & Simões, H., EsConTer: um índice de avaliação de ambiente térmico. Em V Congresso Cubano de Meteorología (pp. 1612-1626). Somet-Cuba, Sociedad de Meteorología de Cuba, (2009).

[17]-Talaia, M. & Rodrigues, F., Conforto e stress térmico: uma avaliação em ambiente laboral. Em J. F. S. Gomes et al., Proceedings CLME'2008 II CEM. 5º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia e 2º Congresso de Engenharia de Moçambique: Maputo. Porto: Edições INEGI, (2008).

[18]-Talaia, M. & Vigário, C., Temperatura de ponto de orvalho: um risco ou uma necessidade. Geografia, Cultura e Riscos. Livro de Homenagem ao Prof. Doutor António Pedrosa. Luciano Lourenço (Coords.), Imprensa da Universidade de Coimbra, (2016) 169-197.