

AMBIENTE TÉRMICO EM SALA DE AULA INFLUÊNCIA NO PROCESSO ENSINO E APRENDIZAGEM

Mário Talaia⁽¹⁾ e Marta Silva⁽²⁾

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

⁽²⁾ Departamento de Física, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal,
maacsilva@portugalmail.com

1. Introdução

Hodson (1998) refere que o Ensino das Ciências deve ser encarado segundo três vectores, tais como *aprender ciência*, onde os alunos deverão adquirir e desenvolver conhecimento conceptual e teórico; *aprender sobre ciência*, ou seja, desenvolver uma compreensão da natureza e métodos da ciência, assim como das interações entre Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTS-A) e, por fim, *fazer ciência*, de forma a poderem desenvolver métodos científicos para a resolução de problemas. Deste modo, o professor, ao estar consciente da distinção entre estes três aspectos do Ensino das Ciências, pode promover estratégias de ensino e aprendizagem que possam desenvolver esses diferentes vectores. Para além disso, torna-se evidente que, incluído no próprio currículo de ciências, deve ser considerado o ensino de processos científicos, o ensino de conhecimentos científicos e o desenvolvimento de competências investigativas (Lopes, 2004).

Assim, atendendo à dinâmica CTS-A, o tema *Conforto e/ou Desconforto Térmico – Bem Estar*, trabalhado numa Perspectiva de Ensino Por Pesquisa (Cachapuz *et al.*, 2002) parece-nos ser bastante interessante e motivante para os alunos, uma vez que é uma forma de envolvê-los para uma problemática actual, as alterações climáticas. As alterações climáticas são uma temática bastante mediática (do passado ao presente), pois o ser humano tem tentado desde sempre estabelecer relações entre si, o tempo atmosférico e o clima, de forma a poder melhorar as suas próprias condições de vida e o seu habitat (IPCC, 2001 e 2007). Atendendo ao referido, quando se fala especificamente do desenvolvimento cognitivo e dos processos de aprendizagem dos alunos deve-se considerar alguns aspectos importantes relacionados com a motivação dos alunos, os estímulos do ambiente e, também, as relações sociais.

No que concerne aos estímulos do ambiente, a construção de edificações com características adequadas ao clima e ao tipo de ocupação é bastante importante para a obtenção de ambientes adequados à boa aprendizagem dos alunos. Segundo Nogueira *et al.* (2005) os edifícios escolares podem

comprometer o ensino e aprendizagem, a saúde física e psicológica, e podem suscitar um aumento excessivo de energia eléctrica para condicionar o ambiente térmico na sala de aula.

Para além da edificação das escolas existem outros factores que podem afectar o ensino e aprendizagem dos alunos, tal como a problemática do aquecimento global (IPCC, 2001 e 2007), devido basicamente ao aumento da temperatura do ar (Silva, 2008). É sabido que ambientes interiores “*indoor*”, são influenciados pelos ambientes “*outdoor*”. Do ponto de vista dos autores, ambientes “*outdoor*” quando são muito quentes ou muito frios, podem influenciar a aprendizagem de alunos em contexto de sala de aula, devido ao balanço energético condicionado pela transferência de energia sob a forma de calor. A literatura da especialidade sugere características próprias para se ter um ambiente de bem-estar numa actividade intelectual (Tromp, 1980).

Com este trabalho pretende-se mostrar a diferença de ambiente térmico que se regista em sala de aula de uma escola.

Consideramos este trabalho, mesmo sendo exploratório, inovador devido a falta de informação deste tipo de investigação na literatura da especialidade.

2. Conjunto de dados

Os dados foram registados no interior e no exterior da sala de aula, em diferentes dias e sempre que possível em diferentes horas do mesmo dia.

Foram considerados parâmetros meteorológicos, nomeadamente a temperatura do ar e temperatura do termómetro molhado (usaram-se psicrómetros construídos para o efeito). As outras variáveis necessárias ao cálculo do balanço energético foram determinadas por via indirecta e por aproximação.

Foram atendidos parâmetros pessoais específicos dos alunos e usadas folhas de registo (construídas para anotar algumas informações) para o estabelecimento de relações entre o ambiente térmico e o processo de ensino e aprendizagem.

3. Índices *PMV* e índice *PPD*

É sabido que a norma ISO 7730 (2005) define o conforto térmico como sendo ...a *satisfação*

expressa quando uma pessoa sujeito a um determinado ambiente térmico. Contudo a definição sugere alguma subjectividade, devido a análise dois aspectos: aspectos físicos (ambiente térmico) e aspectos subjectivos (o estado de espírito do individuo) (Krüger *et al*, 2001).

O conforto térmico é uma sensação que depende da opinião pessoal de cada um. Um ambiente termicamente confortável para uma pessoa pode ser desconfortável para outra. Satisfazer todos os indivíduos inseridos num determinado ambiente térmico é tarefa quase impossível (Markov, 2002). Um objectivo prático será a criação de um ambiente térmico que propicie bem-estar ao maior número de pessoas.

De acordo com a norma ISO 7730 (2005), a insatisfação pode ser resultado de um desconforto térmico causado por um ambiente considerado frio ou quente, ou ainda por um desconforto térmico localizado numa parte específica do corpo.

Há factores que influenciam a aplicabilidade da equação do balanço térmico e a regulação térmica, nomeadamente o género, índice de massa corporal, localização geográfica, aclimatização e idade.

O desconforto térmico por efeito de calor ou de frio pode ocorrer devido a uma variação da taxa metabólica, da temperatura do ar, da humidade do ar, da temperatura radiante média e da velocidade do pacote de ar.

Por opção e por serem índices condicionados pelo balanço energético de uma pessoa num ambiente térmico, usaram-se os índices *PPD* (Predicted Percentage of Dissatisfied Vote) e *PMV* (Predicted Mean Vote) determinados pela aplicação da norma ISO 7730 (2005). Foi também usado o diagrama de conforto /desconforto da WMO (1987).

O índice *PMV* foi desenvolvido em 1970 através de experiências laboratoriais em divisões climatizadas realizadas por Fanger (1972). Nessas experiências, os indivíduos estavam vestidos com determinadas peças de roupa, previamente escolhidas, realizando diversas actividades e sujeitos a determinadas condições térmicas. Em determinadas experiências o ambiente térmico era controlado pelo investigador e os indivíduos mostravam a sua satisfação ou insatisfação com o ambiente usando a escala sétima da ASHRAE (2001, 2004).

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 determinação deste índice de stress térmico tem como principal objectivo a verificação da aceitabilidade térmica de um determinado ambiente estabelecendo os limites permitidos.

Fixando-se o *PMV* ao valor “0” é possível determinar as combinações possíveis das diferentes

variáveis que promovem uma sensação de neutralidade térmica (ISO 7730, 2005).

O índice *PMV* prevê o voto médio estimado de um grande grupo de pessoas sujeitas a um mesmo ambiente térmico e, baseia-se na equação de balanço térmico e nas teorias de termoregulação.

Segundo a ISO 7730 (2005) a aplicação do índice *PMV* é recomendada apenas quando as variáveis meteorológicas e pessoais estão dentro de certos intervalos. Os parâmetros a considerar são de dois tipos: *valores estimados*, nomeadamente taxa metabólica, *M* e resistência térmica do vestuário, *I_{CL}* e *variáveis meteorológicas* tais como temperatura do ar *T*, temperatura radiante média *T_{MR}*, velocidade do ar *v*, pressão parcial de vapor de água à temperatura do ponto de orvalho *e(T_d)*.

Segundo a norma ISO 7730 (2005), o índice de *PMV* é calculado a partir de uma equação geral de balanço energético que é função de várias termos intermédios, nomeadamente

$$+(M - W) \quad (1)$$

que representa o metabolismo e trabalho,

$$- 3,05 \times 10^{-3} \left[5733 - 6,99 \times (M - W) - e(T_d) \right] \quad (2)$$

a difusão de vapor ou seja um termo relacionado com a evaporação,

$$- 0,42 [(M - W) - 58,15] \quad (3)$$

a transpiração ou seja um termo relacionado com a evaporação,

$$- 1,7 \times 10^{-5} M [5867 - e(T_d)] \quad (4)$$

a respiração latente ou seja um termo relacionado com a respiração,

$$- 0,0014 M (34 - T) \quad (5)$$

a respiração sensível ou seja um termo relacionado com a respiração,

$$- 3,96 \times 10^{-8} f_{CL} \times \left[(T_{CL} + 273)^4 - (T_{MR} + 273)^4 \right] \quad (6)$$

a radiação ou seja a perda de energia sob a forma de calor por radiação (lei de Stefan-Boltzmann),

$$+ f_{CL} h_C (T_{CL} - T) \quad (7)$$

a convecção, ou seja a perda de energia sob a forma de calor por convecção.

No balanço energético deverá, também, aparecer um termo que representa a acumulação de calor.

A constante indicada na expressão (6) de $3,96 \times 10^{-8}$ foi determinada tendo por base a expressão

$$\varepsilon \sigma \frac{A_{ef}}{A_{DU}} \quad (8)$$

em que ε indica a emissividade (0,97; neste trabalho), σ a constante de Stefan-Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$), A_{ef} a área efectiva do corpo para haver transferência de energia sob a forma de

calor por radiação e A_{DU} a área corporal ou seja a área da superfície exterior de uma pessoa nua.

A avaliação da área da superfície extensível do corpo nu foi originalmente proposta por Dubois e Dubois (1916) como se segue

$$A_{DU} = 0,203m^{0,425}Z^{0,725} \quad (9)$$

onde m representa a massa (kg) e Z a altura (m) da pessoa. Considerou-se $A_{ef}/A_{DU} \cong 0,71$.

A temperatura exterior do vestuário T_{CL} é determinada por

$$T_{CL} = 35,7 - 0,028(M - W) - C \quad (10)$$

em que

$$C = -I_{CL} \left[\frac{3,96 \times 10^{-8} f_{CL} \times (T_{CL} + 273)^4 - (T_{MR} + 273)^4}{f_{CL} h_c (T_{CL} - T)} \right] + \quad (11)$$

O factor de vestuário I_{CL} depende da área exterior do vestuário e da área corporal. O factor de vestuário correlaciona-se com a resistência térmica do vestuário, é adimensional e superior à unidade. O valor de h_c representa o coeficiente de transferência de energia sob a forma de calor por convecção.

O índice PPD , Predicted Percentage of Dissatisfied Vote, estabelece a percentagem de pessoas insatisfeitas termicamente com o ambiente. Este baseia-se na percentagem de um grande grupo de pessoas que gostariam que o ambiente estivesse mais quente ou mais frio, votando +3, +2 ou -3 e -2, na escala sétima de ASHRAE.

O índice PPD pode ser determinado analiticamente através da expressão

$$PPD = 100 - 95 \times e^{-(0,03353 PMV^4 + 0,2179 PMV^2)} \quad (12)$$

A relação entre o índice PPD e o índice PMV pode ser analisada. É impossível obter num ambiente que satisfaça plenamente todos os indivíduos de um grande grupo; o valor do índice PPD nunca é inferior a 5%. O valor mínimo de PPD corresponde à condição de neutralidade térmica. A neutralidade térmica é atingida com diferentes valores de temperatura do ar, humidade relativa e velocidade do ar, consoante o indivíduo e a sua capacidade de aclimatização.

Os valores máximos admissíveis para os índices PMV e PPD , para que se possa considerar a área estudada uma zona de conforto são respectivamente

$$\begin{aligned} -0,5 < PMV < +0,5 \\ PPP < 10\% \end{aligned} \quad (13)$$

A Figura 1 ilustra sensações térmicas para valores $PMV \in [-2, +2]$.

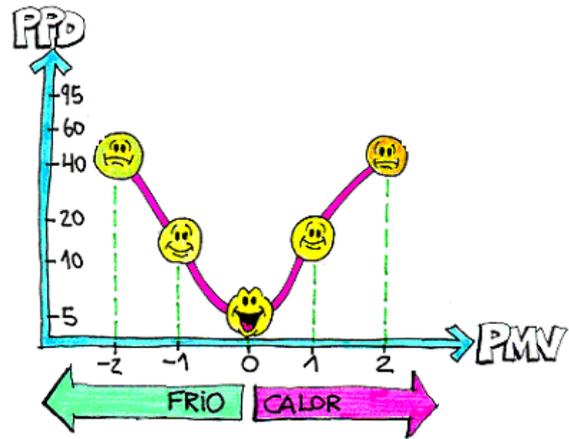


Figura 1. Sensações de conforto

No geral, a quantificação das expressões indicadas anteriormente consideram variáveis humanas, dado o ser humano ser homeotérmico. O metabolismo, evaporação, condução, convecção e radiação são determinantes. A Figura 2 ilustra como o ser humano é afectado, uma situação típica.

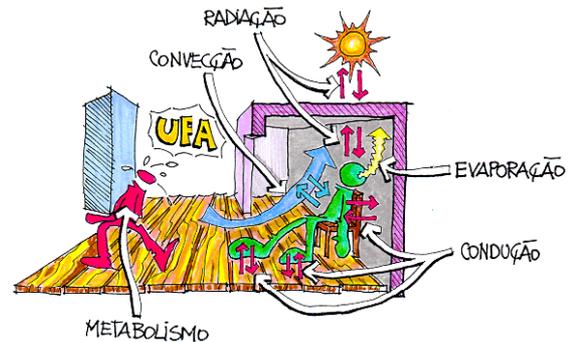


Figura 2. Variáveis que condicionam o bem-estar

4. Resultados e análise

Os resultados obtidos permitem concluir que o valor do calor devido à evaporação pode representar, em média, cerca de 29,4% do total posto em jogo, o valor do calor devido à radiação representa cerca de 35,9% do total posto em jogo, o valor do calor devido à condução representa cerca de 0% do total posto em jogo e o valor do calor devido à convecção representa cerca de 35,9% do total posto em jogo.

Na Figura 3 os círculos representam os dados experimentais e a linha de cor azul a evolução esperada quando se aplica a norma ISO 7730 (2005).

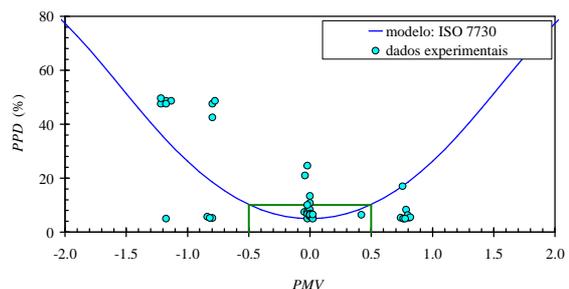


Figura 3. Sensações registradas

A observação do gráfico da Figura 3 permite concluir que só alguns dados registados estão incluídos na zona considerada de conforto térmico. Os valores próximos do valor (-1) indicam situação de sensação de ligeiramente frio e os dados próximos do valor (+1) indicam situação de sensação de ligeiramente quente. São situações que merecem valorização quando estamos a investigar a influência do ambiente término no processo ensino e aprendizagem.

As conclusões a partir da observação da Figura 3 são corroboradas quando se aplicam os dados registados no diagrama da WMO. A Figura 4 mostra a localização de cada registo. Como esperado, alguns pontos experimentais estão na zona de conforto. Nenhuma situação foi encontrada a necessitar de ventilação. Há situações a necessitar de aquecimento. Algumas situações mostram que estratégias de intervenção são necessárias, pontos localizados na zona de demasiado húmido. Se por um lado o aumento da temperatura do ar condiciona a diminuição da humidade relativa do ar, este aumento para uma actividade intelectual não deve exceder cerca de 22°C. A observação visual do diagrama já mostra vários registos com uma temperatura superior. Estas condições ambientais oferecem uma sensação de *sufoco*. Então a solução para estes casos passa pela desumidificação ou seja por diminuir a pressão parcial de saturação de vapor de água à temperatura do ponto de orvalho.

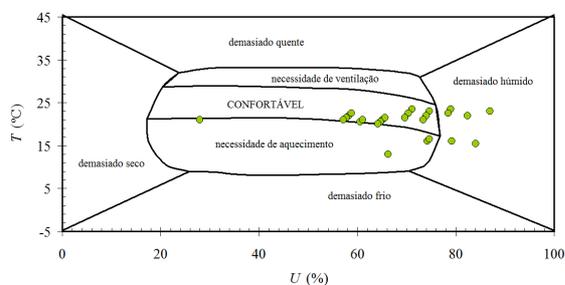


Figure 4. Dados experimentais e WMO (1987)

Para compreender a influência do ambiente exterior no ambiente interior, aplicou-se aos dados experimentais ao índice temperatura humidade, *ITH*, como se mostra na Figura 5.

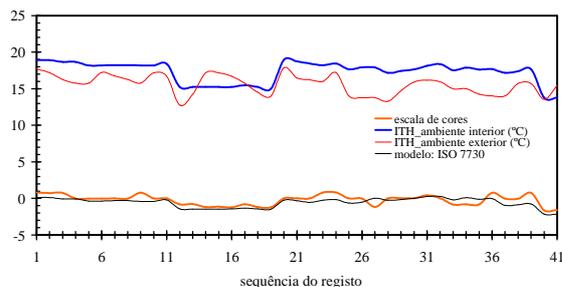


Figure 5. Informações: ambiente sala de aula

Na Figura 5 a linha de cor “azul” indica o índice *ITH* para a sala de aula (*ITH_ambiente interior*) e a linha de cor “vermelha” indica o índice *ITH* para o exterior da sala de aula (*ITH_ambiente exterior*). A observação visual mostra de forma inequívoca que há influência entre os dois ambientes. A linha de cor “preta” representa o modelo da norma ISO 7730 (2005) e a linha de cor “dourada” a informação da escala de cores indicada pelos alunos. Agora, também, a observação visual mostra uma excelente concordância entre as duas técnicas usadas. É muito interessante a correlação encontrada com a escala de cores e o índice *ITH* para o interior da sala de aula.

O tipo de vestuário foi considerado na influência do conforto térmico. A temperatura operativa, definida como uma temperatura uniforme de um ambiente negro imaginário no qual o indivíduo poderia trocar a mesma quantidade de calor por radiação e convecção que no ambiente real não uniforme, foi considerada. Na prática a actividade escolhida (uma actividade de carácter intelectual – em termos de estudo) e o vestuário (na unidade de clo) estão relacionados e podem influenciar a sensação térmica de um indivíduo. Assim, para a mesma actividade, o vestuário influencia a temperatura operativa. Um valor de clo (medida de vestuário) mais alto determina uma temperatura operativa mais baixa. A análise destas contribuições para a interpretação de dados está em curso.

5. Considerações Finais

O estudo exploratório permitiu considerar válida a metodologia usada.

Como esperado, as condições atmosféricas interiores “indoor” são condicionadas pelas condições atmosféricas exteriores “outdoor”.

Os resultados obtidos permitiram conhecer as sensações térmicas durante o período de tempo, considerado necessário para efeitos exploratórios.

O diagrama da World Meteorological Organization (WMO) parece ser uma ferramenta de simples utilização e com indicações objectivas acerca da melhoria do ambiente.

Para o conhecimento da influência da sensação térmica na aprendizagem (contexto educacional) estão a ser preparados questionários para serem respondidos por cada aluno no final de diferentes aulas e em dias diferentes. Os alunos não terão conhecimento da passagem dos questionários.

Será, também, valorizado o tipo de vestimenta usado na sala de aula. Um cuidado especial será orientado para as sensações térmicas registadas nos pés e nas mãos. O observador deverá registar comportamentos inquietos e valorizar o tipo de vestimenta usado (desse aluno). Nestes casos dar-se-á especial atenção à evolução da avaliação.

Tentar-se-á criar uma amostra reduzida de alunos que possam usar o mesmo tipo de roupa nos dias de registo de informações.

Espera-se que os resultados possam contribuir para se compreender como um ambiente térmico pode influenciar o processo ensino e aprendizagem, e que os resultados obtidos possam ser valorizados pelas entidades responsáveis escolares.

Bibliografia

ASHRAE (2001). *Handbook of Fundamentals - Physiological Principles for Comfort and Health*, Chapter 8, Atlanta, 1-32.

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

Cachapuz, A., Jorge, J. e Praia, J. (2002). *Ciência, Educação em Ciência e Ensino das Ciências*. Lisboa: Ministério da Educação.

Dubois, D. e Dubois, E.F. (1916). A formula to estimate approximate surface area, if height and weight are known. *Archives of Internal Medicine*, Vol. 17, 863-875.

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

Hodson, D. (1998). *Teaching and learning science: Towards a personalized approach*. Buckingham: Open University Press.

IPCC (2001). *Technical Summary, Climate, Adaptation and Vulnerability*. A Report of Working Group II of Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneve, Suíça.

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

ISO 7730/2005 (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), Vol. 1, 1-7.

Lopes, J.B. (2004). *Aprender a ensinar Física*. Fundação Calouste Gulbenkian. Fundação para a Ciência e a Tecnologia.

Nogueira, C.J.A.N., Durante, L.C. e Nogueira, J.S. (2005). Conforto térmico na Escola Pública em Cuiabá-MT: estudo de caso. *Revista Electrónica do*

Mestrado em Educação Ambiental, Rio Grande, 14, 37-49. ISSN: 1517-1256.

Silva, M.A.A.C. (2008). *A Temperatura e a Humidade Relativa do ar num Contexto Educativo*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro. <http://biblioteca.sinbad.ua.pt/Teses/2008001852> (último acesso 25 de Julho de 2009)

Tromp, S.W. (1980). *Biometeorology, the Impact of the Weather and the Climate on Humans and Their Environment*. Heyden International Topics in Science, London.

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