

LUCIANO LOURENÇO
(COORDS.)

IMPRESA DA
UNIVERSIDADE
DE COIMBRA
COIMBRA
UNIVERSITY
PRESS

GEOGRAFIA, CULTURA E RISCOS

LIVRO DE HOMENAGEM AO
PROF. DOUTOR ANTÓNIO PEDROSA



**TEMPERATURA DE PONTO DE ORVALHO:
UM RISCO OU UMA NECESSIDADE**
DEW POINT TEMPERATURE: A RISK OR A NEED

Mário Talaia

Departamento de Física, Universidade de Aveiro
mart@ua.pt

Carla Vigário

Universidade de Aveiro
carla.vigario@ua.pt

Sumário: O ar húmido condiciona a vida na Terra. A água nos seus estados permite estudar fenómenos que afetam o dia-a-dia de uma pessoa. A palavra orvalho está associada à temperatura do ponto de orvalho e esta identifica a quantidade de água presente na Atmosfera. O máximo de vapor de água a uma dada temperatura pode ser determinado através da aplicação de conhecimentos da Termodinâmica. Neste trabalho serão apresentados vários cenários onde é mostrada a importância do valor da temperatura de ponto de orvalho. Também é introduzido um indicador denominado de DPT que depende da temperatura de ponto orvalho e que prevê a sensação de bem-estar de uma pessoa em determinado ambiente, sempre que oportuno. Os resultados mostram a importância da temperatura de ponto de orvalho como uma necessidade e sempre que possível identifica riscos associados.

Palavras-chave: Temperatura de ponto de orvalho, índice DPT, sensação térmica, saturação, vapor de água.

Abstract: The moist air influences life on Earth. Water, in its many states, enables studying phenomena that affect a person's everyday life. The word dew is directly associated with the dew point temperature and identifies the amount of water present in the atmosphere. Thermodynamics concepts can be used to determine the maximum water vapour at a given temperature. In this work, several scenarios will be presented showing the importance of the dew point temperature value. Additionally an indicator called DPT, that depends on the dew point temperature and foresees, when appropriate, the sense of well-being of a person in a particular environment, is introduced. The results reveal the necessary importance of the dew point temperature and when possible identifies the associated risks.

Keywords: Dew point temperature, DPT index, thermal sensation, saturation, water vapour.

Introdução

Na meteorologia assume-se que o “ar” é constituído apenas por dois gases perfeitos ou ideais, ou seja, pelo ar seco e vapor de água, sendo designado por ar húmido. Enquanto o ar seco é uma mistura em proporções fixas de diversos gases (N_2 , O_2 , Ar, etc.), a existência do vapor de água é considerada variável (J. V. Iribarne e H. R. Cho, 1980).

A equação de estado pode ser aplicada ao ar seco e vapor de água, com constantes particulares diferentes de $287,05\text{J}/(\text{kg}^{-1}\text{K}^{-1})$ e $461,51\text{J}/(\text{kg}^{-1}\text{K}^{-1})$, respetivamente (M. L. Salby, 1995; C. D. Ahrens, 2012). A equação de estado aplicada ao vapor de água usa a pressão parcial de saturação do vapor de água à temperatura de ponto de orvalho e a equação de estado aplicada ao ar seco usa a pressão atmosférica devido a pressão parcial de saturação do vapor de água ser desprezada face ao valor da pressão atmosférica.

A temperatura de ponto de orvalho é a temperatura até à qual o ar húmido deve ser arrefecido, a pressão e razão de mistura constantes, para que atinja a saturação em relação à água líquida. O nível de condensação é o nível até ao qual uma parcela de ar húmido pode ascender adiabaticamente antes de atingir a saturação.

Durante a ascensão a razão de mistura atual do ar (definida no nível isobárico, no estado de origem, a uma dada temperatura de ponto de orvalho) e a sua temperatura potencial (definida no nível isobárico, no estado de origem) permanecem constantes, enquanto a razão de mistura de saturação que é função da temperatura e do nível isobárico onde se encontra, diminui com a diminuição da temperatura do ar até se tornar igual a razão de mistura atual no nível de condensação.

A temperatura de ponto de orvalho é um bom indicador da quantidade de água existente numa parcela ou pacote de ar. Conhecida a pressão parcial de saturação de vapor de água a temperatura de ponto de orvalho, por aplicação da equação de estado ao vapor de água é possível conhecer a quantidade de água (vapor de água condensado) por unidade de volume.

A humidade relativa do ar (cociente entre a razão de mistura atual à temperatura de ponto de orvalho e a razão de mistura de saturação à temperatura do ar, a uma dada pressão) permite avaliar se é alta ou baixa a humidade relativa do ar.

Neste trabalho a temperatura de ponto de orvalho estará presente em diferentes aplicações: num ambiente térmico considerado de frio, confortável e quente; na formação do orvalho; na formação de nuvens, neblina e nevoeiro; na formação de uma base de uma nuvem; na desumidificação e desumidificação de um ambiente; no bem-estar de uma pessoa; na taxa de evaporação da sudção de uma pessoa; no eclodir de um incêndio; no agravamento de doenças; no ambiente térmico interior de edifícios públicos, e em tantas outras.

Na prática, pode-se afirmar que se vive com a temperatura de ponto de orvalho do ar que circunda o corpo humano o que indicia que a temperatura de ponto de orvalho pode suscitar uma necessidade ou um risco para a vida.

Teoria e Métodos

Neste trabalho são apresentadas diferentes aplicações onde é mostrada a importância da pressão parcial de saturação de vapor de água à temperatura de ponto de orvalho.

Na definição da humidade relativa do ar aparecem duas razões de mistura, uma que faz referência ao estado atual e esta associada à temperatura de ponto de orvalho e a outra ao estado de saturação que está associada à temperatura do termómetro seco e mede a quantidade de vapor de água que é possível “aceitar” para essa temperatura. Quando as duas temperaturas são iguais o ar está saturado e a humidade relativa é de 100%. O poder secante do ar está assim ligado a uma maior diferença entre as duas temperaturas.

No ar a formação de gotículas de água está associada a núcleos de condensação, onde o vapor de água condensa e faz crescer o tamanho da gotícula de água. Para a formação do orvalho é necessário uma superfície que registre uma temperatura inferior à temperatura de ponto de orvalho do ar circundante.

Uma parcela de ar que ascende através de uma corrente de convecção arrefece em altitude. Os processos na atmosfera são considerados adiabáticos, não saturados e saturados. A base de uma nuvem é identificada quando a temperatura da parcela de ar não saturado que ascende (por exemplo sem se misturar com o exterior) diminui até igualar a razão de mistura atual (no nível isobárico que iniciou a ascensão).

A equação de estado aplicada ao vapor de água é:

$$e_s = \rho_w R_w T$$

em que e_s representa a pressão parcial de saturação do vapor de água à temperatura de ponto de orvalho, ρ_w a massa volúmica do vapor de água, R_w a constante particular do vapor de água e T a temperatura de ponto de orvalho.

A pressão parcial de saturação do vapor de água e a temperatura estão relacionadas através da equação de Clausius Clapeyron (S. Eskinazi, 1975). O calor de transformação ou variação de entalpia ou calor latente de vaporização

zação depende da temperatura. No entanto, para as temperaturas encontradas na Troposfera, o valor aceite para o calor de transformação é de $2,5 \times 10^6 \text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$.

A expressão:

$$\text{Ln}(e_s/e_{s0}) = (L/R_w)(1/T_0 - 1/T)$$

não descreve exatamente a dependência de pressão parcial de saturação do vapor de água em relação a temperatura, pois o calor de transformação depende da temperatura. Na expressão, e_s representa a pressão parcial de saturação à temperatura T , e_{s0} a pressão de saturação do vapor de água à temperatura T_0 e L o calor de transformação. Na falta de dados pode-se usar a constante de integração $e_{s0} = 6,106 \text{hPa}$ determinada experimentalmente para $T_0 = 273,15 \text{K}$.

O índice EsConTer, desenvolvido por (M. Talaia e H. Simões, 2009) é calculado por aplicação:

$$\text{EsConTer} = 0,103(T + T_w)$$

em que T representa a temperatura do ar e T_w a temperatura do termómetro húmido.

O EsConTer determina um valor da escala sétima de sensação térmica e é de fácil cálculo matemático. O valor de EsConTer pertence ao intervalo de -3 (ambiente térmico muito frio) a +3 (ambiente térmico muito quente), e é de fácil interpretação. Tal como a escala sétima de sensação térmica de ASHRAE (ASHRAE 55, 2004), o resultado do índice EsConTer está associado a um intervalo de valores adimensionais de sensação térmica que varia entre -3 e +3, caracterizado nos extremos por *stress* térmico extremo de frio e de calor, respetivamente, associados às cores “*azul-escuro*” e “*vermelho escuro*” (M. Talaia e F. Rodrigues, 2008). Os valores intermédios correspondem a outras sensações térmicas na escala, sendo que o valor 0, correspondente a uma sensação de conforto térmico (condição térmica neutra), que está equidistante a ambos os extremos explicados, como se mostra na fig. 1.

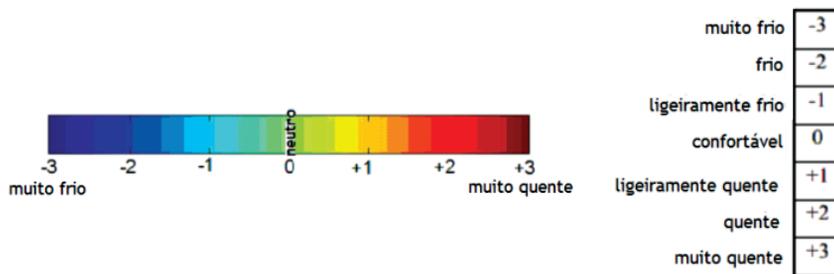


Fig. 1 - Escala de sensação térmica (M. Talaia e F. Rodrigues, 2008) e escala ISO (ISO 7730, 2005).

Fig. 1 - Thermal colour scale (M. Talaia and F. Rodrigues, 2008) and scale ISO (ISO 7730, 2005).

O índice DPT, apresentado pelos autores neste trabalho, é calculado a partir de uma expressão que valoriza a temperatura do ar, T, e a temperatura de ponto de orvalho, Td,

$$DPT = 0,116(T + Td)$$

O DPT determina um valor da escala sétima de sensação térmica e é de fácil cálculo matemático, em que o valor está na gama de -3 (ambiente térmico muito frio) a +3 (ambiente térmico muito quente).

A fig. 2 mostra a concordância entre EsConTer e DPT para uma gama alargada de dados experimentais, desde ambiente térmico muito frio a ambiente térmico muito quente. São também indicadas as sensações térmicas sentidas.

A fig. 3 mostra que o índice DPT e o índice EsConTer apresentam um coeficiente de correlação de Pearson de 0,9941 com um declive de 1,009, ou seja com um erro relativo inferior a 1%. Este resultado mostra a excelente concordância entre os dois índices em que o teste de significância sigma de uma extremidade regista uma correlação significativa a 1%.

Neste trabalho foram construídas tabelas e gráficos para diferentes cenários e foram interpretados os resultados.

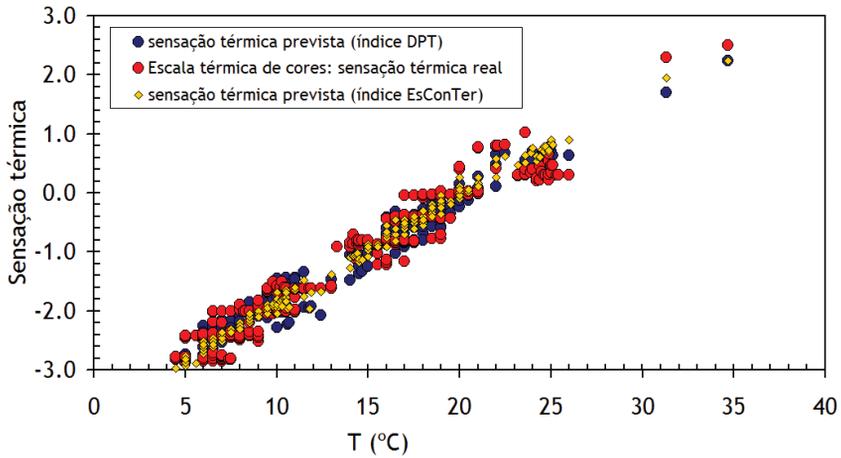


Fig. 2 - EsConTer, DPT e sensação térmica real.

Fig. 2 - EsConTer, DPT and real thermal sensation.

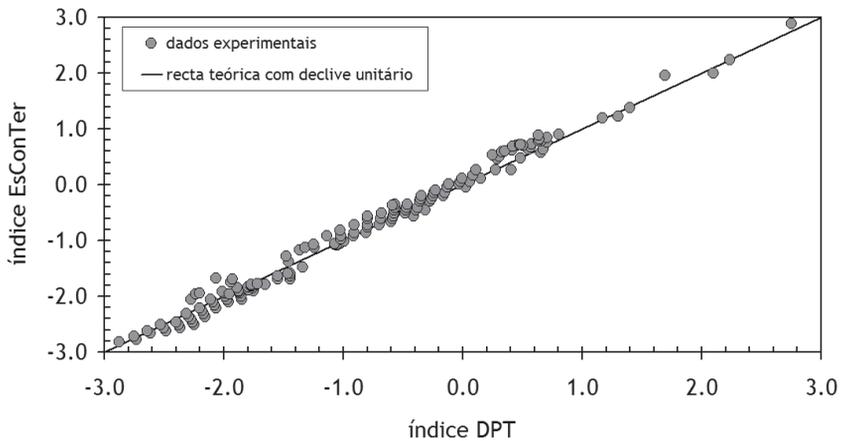


Fig. 3 - Relação entre EsConTer e DPT e seu coeficiente de correlação.

Fig. 3 - Relationship between EsConTer and DPT and correlation coefficient.

Resultados e sua análise

São apresentadas diferentes aplicações onde é mostrada a importância da pressão parcial de saturação de vapor de água à temperatura de ponto de orvalho.

A fig. 4 mostra como a temperatura de ponto de orvalho está associada a massa volúmica ou densidade absoluta do vapor de água através da linha indicada.

Qualquer temperatura e densidade absoluta registadas permitem interpretar se o ar deve ser humidificado ou desumidificado para estar saturado. A interpretação da linha de saturação indica que há um valor de densidade absoluta para cada temperatura que é denominada de ponto de orvalho. A linha de saturação indica o máximo de vapor que está associada a uma temperatura.

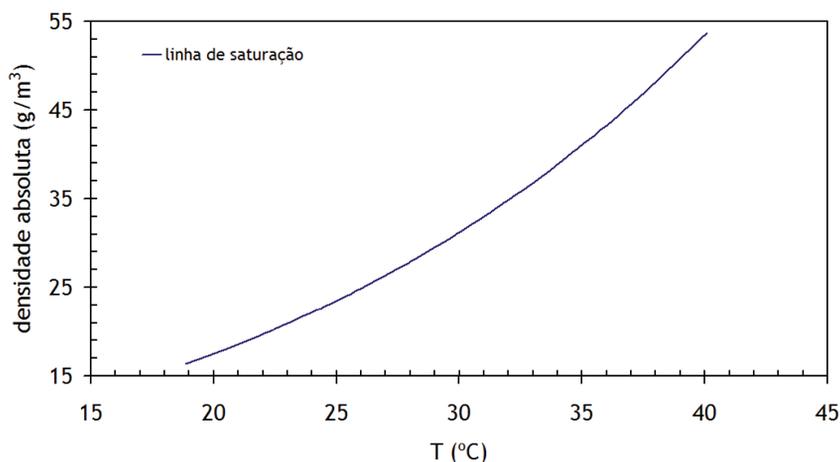


Fig. 4 - Relação entre a temperatura de ponto de orvalho e densidade absoluta.

Fig. 4 - Relationship between dew point temperature and absolute density.

Caso 1: indústria de ambiente térmico quente

De acordo com a ASHRAE (American Society of Heating Refrigeration and Air Conditions) o conforto térmico pode ser definido como “*o estado de espírito em que o indivíduo expressa satisfação em relação ao ambiente térmico*” (ISO 7730, 2005). Mas esta definição implica um certo grau de subjetividade e pressupõe a análise de dois aspetos: aspetos físicos (ambiente térmico) e aspetos subjetivos (estado de espírito do indivíduo). B. Meles (2012), M. Talaia, B. Meles e L. Teixeira (2013) mostraram que “*o stress térmico em ambiente térmico quente ocorre quando os parâmetros ambientais, o tipo de vestuário e o nível de metabolismo interagem e provocam um aumento gradual da temperatura interna corporal, levando a que este ultrapasse um determinado valor*”.

A satisfação de todos os indivíduos, inseridos num ambiente térmico é uma tarefa “quase” impossível, pois um ambiente termicamente confortável para uma pessoa pode ser desconfortável para outra. Logo, o ideal seria a criação de um ambiente térmico que satisfaça o maior número de pessoas. O conforto térmico é obtido quando um indivíduo está numa condição de equilíbrio com o ambiente que o rodeia (temperatura do corpo humano aproximadamente constante, próxima de $(37,0 \pm 0,8)^\circ\text{C}$, o que significa que é possível a manutenção da temperatura dos tecidos constituintes do corpo, num domínio de variação estrito, sem que haja esforço adicional. Esta é a situação ideal, que corresponde a um ambiente neutro ou confortável. Fora deste ambiente pode haver alterações fisiológicas no ser humano. É necessário assegurar que as pessoas não se deparam com situações de desconforto térmico, uma vez que daqui resultam riscos desnecessários (E. R. Q. Costa *et al.*, 2011).

Ambientes térmicos quentes, frios ou moderados podem desencadear reações físicas e psicológicas em qualquer ser humano. No entanto, ainda existem muitas contradições e falhas no que se refere a explicações concretas sobre as consequências do desconforto térmico na produtividade, quer laboral quer intelectual. Na verdade, o constante esforço por um ambiente de trabalho saudável e trabalhadores saudáveis é um pré-requisito para a inovação e produtividade numa economia baseada no conhecimento, ganhando cada vez mais espaço nas empresas (A. Dias, 2013).

Para um pavilhão de uma indústria com ambiente térmico quente foram considerados diferentes postos de observação. Para um dado momento, foram registados dados referentes à temperatura do ar e humidade relativa do ar. Em todo os postos de observação e recolha de dados foram utilizados os aparelhos de medida ‘*Center 317 – temperature humidity meter*’ e ‘*Testo 435-4*’ com uma sonda *Testo*. Os dados registados pelos dois instrumentos de medida geraram o mesmo padrão, o que confirmou a sua calibração (M. Morgado *et al.*, 2015).

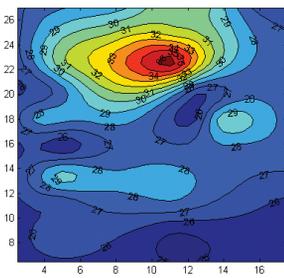
Para cada posto de observação e a partir dos dados registados foi determinada a temperatura de ponto de orvalho, a massa volúmica do vapor de água (valor real esperado), o índice DPT e o índice EsConTer.

A fig. 5 mostra imagens de padrão construídas num algoritmo em MatLab para diferentes variáveis. Os padrões para a temperatura do ar e humidade relativa do ar mostram uma excelente correlação, ou seja quando a temperatura do ar aumenta a humidade relativa do ar diminui e vice-versa. A observação das imagens para a temperatura de ponto de orvalho e massa volúmica do vapor de água estão em concordância e mostram que é possível conhecer a distribuição da quantidade de água por unidade de volume no pavilhão. Para locais onde se registre uma temperatura alta e uma humidade relativa alta haverá condições para *stress* térmico de um trabalhador. Para atividades que exigem esforço, a sudorese do trabalhador é influenciada pela temperatura de ponto de orvalho, ou seja se o ar estiver perto da saturação (equivale a afirmar que a temperatura de ponto de orvalho é muito próxima da temperatura do ar) pode ser suscitada hipertermia no trabalhador devido à dificuldade do arrefecimento da temperatura interna corporal através da evaporação do líquido que molha a pele. Nesta situação haverá risco de saúde para o trabalhador. As imagens dos índices DPT e EsConTer estão concordantes e o padrão DPT mostra que a sensação térmica pode ser prevista usando a temperatura de ponto de orvalho.

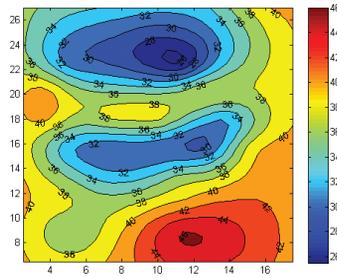
Caso 2: indústria de ambiente térmico frio

Os ambientes considerados frios são aqueles caracterizados por condições ambientais que levam à condição de *stress* térmico por frio (I. Holmér *et al.*, 1999). O *stress* térmico por frio pode estar presente de várias maneiras diferentes, afetando o equilíbrio térmico de todo o corpo, assim como o equilíbrio térmico local das extremidades, a pele e os pulmões. A hipotermia, que constitui a patologia geral devido ao frio, por falência da termorregulação, traduz-se, no início, por um arrepiamento generalizado, uma temperatura interna que baixa e uma pressão arterial que aumenta.

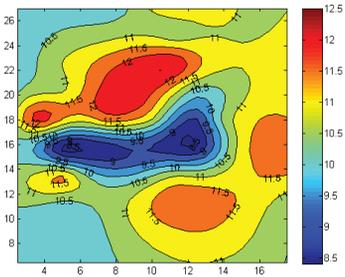
Para um pavilhão de uma indústria de ambiente térmico frio foram considerados diferentes postos de observação e para um dado momento foram registados dados referentes à temperatura do ar e humidade relativa do ar usando o aparelho de medida ‘Center 317 – temperature humidity meter’.



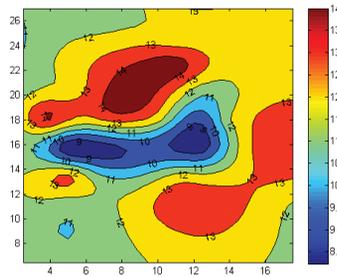
Temperatura; air temperature pattern
(°C)



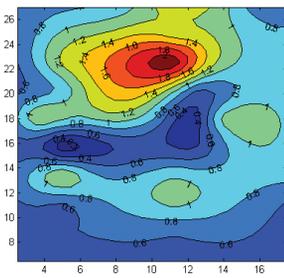
Humidade relativa; air relative humidity
pattern (%)



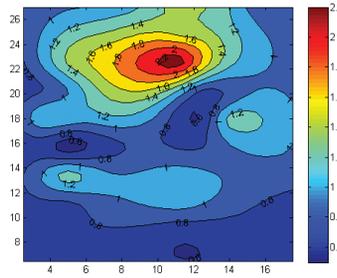
Massa volúmica; water vapor density (g/
m³)



Temp.^a de ponto de orvalho; dew point
temperature (°C)



DPT thermal pattern

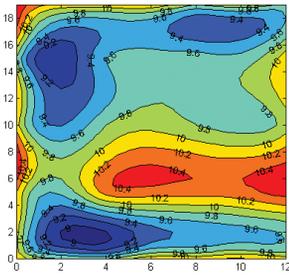


EsConTer thermal pattern

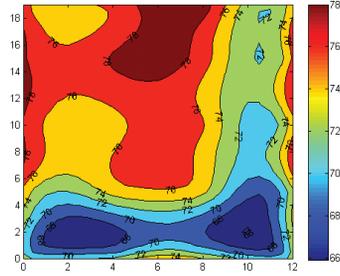
Fig. 5 - Industria de ambiente térmico quente: mapas padrões.

Fig. 5 - Industry of hot thermal environment: standard maps.

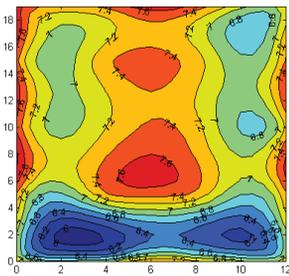
A fig. 6 mostra imagens de padrão construídas num algoritmo em MatLab para diferentes variáveis e seguiu-se a metodologia usada para o caso 1.



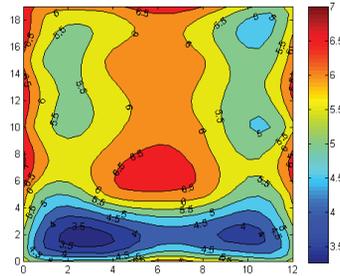
Temperatura; air temperature pattern (°C)



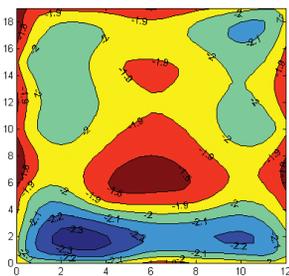
Humidade relativa; air relative humidity pattern (%)



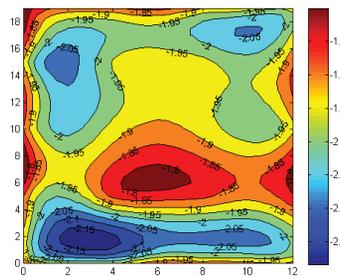
Massa volúmica; water vapor density (g/m³)



Temp.^a de ponto de orvalho; dew point temperature (°C)



DPT thermal pattern



EsConTer thermal pattern

Fig. 6 - Industria de ambiente térmico frio: mapas padrões.

Fig. 6 - Industry of cold thermal environment: standard maps.

A observação das imagens da fig. 6 mostra, como esperado, que há concordância entre os padrões da temperatura e da humidade do ar, de acordo com a teoria (C. D. Ahrens, 2012). Foram gerados padrões para a temperatura de ponto de orvalho, massa volúmica do vapor de água, índices DPT e EsConTer. As imagens dos índices DPT e EsConTer estão concordantes.

Os resultados mostram que é prevista uma sensação térmica de ambiente térmico frio para muito frio, com temperaturas de ponto de orvalho inferiores a 7°C e uma massa volúmica de vapor de água máxima de 8g/m³. De acordo com (WMO, 1987) os trabalhadores presentes na nave industrial estão em condições de hipotermia e devem ter um vestuário adequado para sua proteção. Como não é possível aumentar a temperatura do ar, uma solução para melhorar o ambiente térmico é diminuir a temperatura de ponto de orvalho que cria uma diminuição da massa volúmica do vapor de água contido no ar húmido, favorece a diminuição da humidade relativa do ar mas não soluciona o problema da hipotermia. Pode-se afirmar que um ambiente térmico deste tipo gera riscos para a saúde. (T. Kim *et al.*, 2007) referem que trabalhos de manipulação manual de cargas em ambientes severamente frios, durante períodos prolongados, conduzem a uma redução na destreza manual. Assim sendo, é importante referir que a destreza manual reduzida pode diminuir a eficiência do trabalho e a produtividade, aumentando o risco de acidentes nos ambientes de trabalho frios. A opinião dos trabalhadores relativamente ao ambiente térmico em que se encontram normalmente é, hoje em dia, um fator importante e a ter em conta, uma vez que a sua perceção poderá estar relacionada com o seus comportamentos (I. Tavares *et al.*, 2015).

Caso 3: serviços hospitalares

Há pacientes que são admitidos a uma recuperação em enfermaria. Este espaço deve ter um ar húmido com características termohigrométricas adequadas. Foram registados dados *indoor* e *outdoor* num dado momento, usando um aparelho de medida '*Center 317 – temperature humidity meter*'.

Em termos de saúde pública há risco para DPOC (Doença Pulmonar Obstrutiva Crónica), por exemplo, quando o ar tem um grande poder secante, pois estas condições aumentam a viscosidade do “muco” das vias respiratórias, devido ao processo de desidratação. O poder secante do ar está ligado a temperatura de ponto de orvalho que indica a quantidade de água no estado gasoso que está presente no ar húmido. Um paciente que sofre de agudizações de ataques de asma deve estar protegido de ambientes térmicos com baixa humidade relativa do ar (esta favorece a desidratação o que suscita o chamado efeito de “tampão”) ou de ambientes térmicos muito frios (estes favorecem a vaso constricção).

A TABELA I mostra valores registados e calculados para uma determinada hora de um dia (M. Talaia e D. Pina, 2015).

TABELA I - Dados registados e calculados para salas e atmosfera.

TABLE I - Recorded and calculated data for rooms and atmosphere.

| | T (°C) | HR (%) | EsConTer | DPT | Td (°C) | r _w (g/m ³) |
|---------------------|--------|--------|----------|-----|---------|------------------------------------|
| Interior: Sala A | 26,3 | 53,20 | 1.0 | 1.2 | 16,2 | 13,9 |
| Interior: Sala B | 26,1 | 51,20 | 1.0 | 1.1 | 15,4 | 13,3 |
| Exterior: Atmosfera | 20,6 | 58,50 | 0.0 | 0.1 | 12,3 | 10,9 |

As condições térmicas para as duas salas mostram ser de ambiente térmico ligeiramente quente, com uma necessidade de diminuir a temperatura do ar. A humidade relativa registada é normal para um ambiente térmico de conforto. Nestas circunstâncias a temperatura de ponto de orvalho e a massa volúmica de vapor de água parecem não oferecer risco para a saúde, no entanto é de referir que a diminuição da temperatura do ar faz diminuir a pressão parcial de saturação à temperatura do ar o que favorece o aumento da humidade relativa, o que poderá afastar esta do patamar de conforto.

Neste exemplo o exterior às duas salas apresenta um ambiente tipicamente de conforto térmico.

A literatura da especialidade mostra que para pessoas sem atividades, ou com atividade intelectual, o ambiente térmico deve registar valores de temperaturas do ar de 20°C a 22°C e uma humidade relativa de 50% a 60%. Para estas condições, é possível determinar uma massa volúmica de vapor de água entre 9.3g/m³ a 10.6g/m³.

Caso 4: condições térmicas numa frente de fogo

Numa secção de formação foi considerada a influência da temperatura de ponto de orvalho no ar húmido. Por exemplo, no risco de fogo, um ambiente com uma temperatura de 30°C e uma humidade relativa de 30% regista uma massa volúmica de vapor de água de 10,0g/m³ enquanto que para a mesma temperatura e uma humidade relativa de 60% regista uma massa volúmica de vapor de água de 19,2g/m³, o que faz toda diferença no risco de incêndio florestal (M. Talaia e V. Ferreira, 2010).

A TABELA II mostra valores previstos para uma frente de fogo. Os valores indicados mostram como um ambiente térmico é influenciado pela temperatura de ponto de orvalho e massa volúmica de vapor de água.

Quanto mais alta for a temperatura de ponto de orvalho maior quantidade de vapor de água está contido no ar húmido, e se durante a noite as superfícies registarem temperaturas inferiores a temperatura de ponto de orvalho, o excesso de vapor de água condensa e molha a vegetação podendo diminuir o avanço de um incêndio florestal, devida a diferença entre uma cobertura de vegetação seca ou molhada.

TABELA II - Dados previstos para frente de fogo.

TABLE II - Theoretical data for fire front.

| HR (%) | T (°C) | Td (°C) | DPT | r _w (g/m ³) |
|--------|--------|---------|-------|------------------------------------|
| 40 | 34,0 | 18,9 | + 2,4 | 16,4 |
| 70 | 34,0 | 27,9 | > 3,0 | 27,8 |
| 50 | 42,0 | 29,8 | > 3,0 | 30,9 |
| 90 | 42,0 | 40,1 | > 3,0 | 53,7 |

Caso 5: condições térmicas de uma atmosfera fria – a céu aberto

Num ambiente térmico frio, o organismo pode acelerar o mecanismo para produzir mais energia sob a forma de calor. O vestuário também ajuda a manter a temperatura corporal. A hipotermia, que constitui a patologia geral devida ao frio acontece por falência da termorregulação. A sensação térmica depende de cada pessoa e é subjetiva, um ambiente pode ser termicamente confortável para uma pessoa e ser frio ou quente para outra (M. Talaia, 2015).

Na história da humanidade há dois episódios que devem ser recordados para ambiente térmico frio a céu aberto, e que foram atribuídos ao chamado “General do Inverno”. Napoleão em 1812 deu ordens ao seu poderoso exército para invadir a Rússia e em 22 de Junho de 1941, milhões de soldados nazistas romperam as fronteiras da União Soviética em três ofensivas paralelas. Estes dois episódios mostraram que um ambiente térmico frio a céu aberto pode suscitar *stress* térmico com consequências drásticas se não for usado vestuário com adequado isolamento térmico. No primeiro episódio o Inverno registou temperaturas negativas de cerca de -40°C provocando a morte aos soldados por falta de roupa adequada, cansaço, fome e frio, e os cavalos não tinham ferraduras adaptadas ao gelo, escorregavam e quebravam as patas, no segundo episódio o “General Inverno” chega e as temperaturas diminuem abruptamente, registando-se cerca de -30°C (M. Talaia, 2016).

A TABELA III mostra valores registados e calculados para alguns dias para uma atmosfera fria a céu aberto, a mesma hora, durante uma semana que estava a ser afetada pela presença de uma frente fria. No último dia de registo as condições meteorológicas alteraram passando de uma massa de ar com características polares para condições de tempo de formação de nuvens com precipitação associada.

A observação dos valores indicados na (TABELA III) mostra que durante o episódio estudado, foi usado o mesmo vestuário (camisola, camisa, cueca, meias, calças, sapatos) e a sensação térmica real gerou condições de hipotermia próximas de *stress* ao frio. No entanto as condições registadas são muito mais agradáveis face aos episódios afetados pelo “General Inverno”. O último dia

suscitou condições de ambiente ligeiramente frio. A contribuição foi alicerçada na mudança do vapor de água contido na atmosfera, ou seja registou-se um aumento de cerca de 100%. Esta situação, como esperado, alterou a temperatura de ponto de orvalho e o arrefecimento em altitude da massa de ar gerou a formação de nuvens e precipitação, com uma subida da temperatura do ar que melhorou substancialmente a sensação térmica sentida. O interessante deste estudo foi manter o mesmo vestuário, em unidades de clo, durante a duração do episódio com presença de frente fria.

Conclui-se que um ambiente térmico com características de muito frio e a céu aberto pode aumentar o risco para a saúde quando estão reunidas condições gravosas de hipotermia.

TABELA III - Dados previstos e calculados de uma atmosfera fria.

TABLE III - Theoretical and calculated data from a cold atmosphere.

| HR (%) | T (°C) | Td (°C) | DPT | rw (g/m ³) | Sensação térmica real |
|--------|--------|---------|------|------------------------|-----------------------------------|
| 51,2 | 8,2 | -1,3 | -2,9 | 4,4 | Muito frio no corpo todo |
| 47,1 | 7,4 | -3,3 | -3,3 | 3,9 | Muito frio no corpo todo |
| 51,8 | 8,3 | -1,0 | -2,9 | 4,5 | Muito frio no corpo todo |
| 73,6 | 14,3 | 9,7 | -1,0 | 9,3 | Ligeiramente frio em todo o corpo |

A fig. 7 mostra como o valor do isolamento térmico do vestuário, em unidades de clo, é influenciado pela dinâmica das estações do ano. Na imagem os círculos de cor azul representam dados para o Inverno, os triângulos de cor azul piscina para os registos neste trabalho e os triângulos de cor verde para valores aceites segundo a norma ISO (ISO 7730, 2005). O valor usado de clo para o estudo (composto por camisola, camisa, cueca, meias, calças de algodão e sapatos) é inferior ao previsto e sugerido pela norma ISO (ISO 7730, 2005) o que sugere *stress* térmico em ambiente térmico frio a céu aberto. Os valores de clo previstos neste estudo e na norma ISO estão concordantes com os valores indicados para o Inverno (J. Liu *et al.*, 2012).

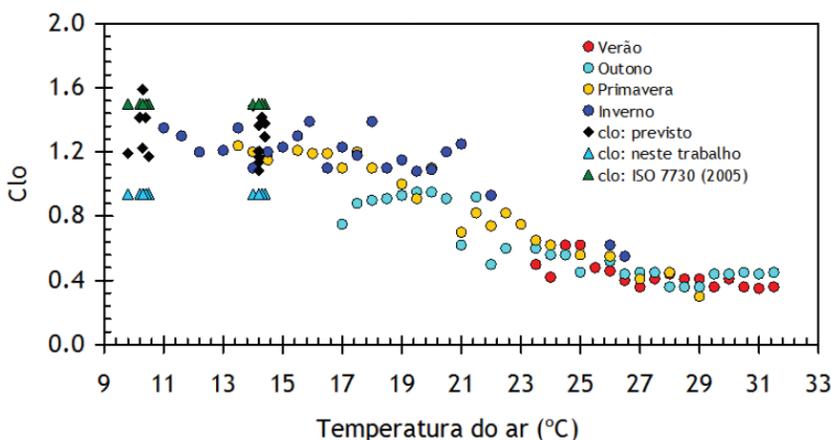


Fig. 7 - Tendência do valor de Clo com a temperatura do ar (Adaptado de Liu *et al.*, 2012).

Fig. 7 - Clothing insulation tendencies with air temperature (Adapted from J. Liu *et al.*, 2012).

A fig. 8 mostra como valor de clo e DPT são influenciados pela temperatura do ar. Os círculos de cor azul representam os valores de clo previstos; os círculos de cor negra os valores previstos pela aplicação do índice DPT; os triângulos de cor azul os valores de clo usados neste trabalho; a linha de ajuste de cor azul a tendência do valor de clo e a linha de ajuste de cor negra a tendência dos valores de sensação térmica, por aplicação do método dos desvios mínimos quadrados.

Inequivocamente os valores indicados na (fig. 8) mostram uma sensação térmica de *stress* térmico quando o ambiente término regista temperaturas inferiores a cerca de 8°C. Nestes casos o isolamento término em unidades de clo deve aumentar para se registar uma proteção adequada do corpo e evitar o risco de falência do organismo.

Caso 6: ambiente térmico de sala de aula – ensino e aprendizagem

Numa grande parte das edificações escolares públicas há espaços que não satisfazem as necessidades básicas de conforto térmico. Certamente estas con-

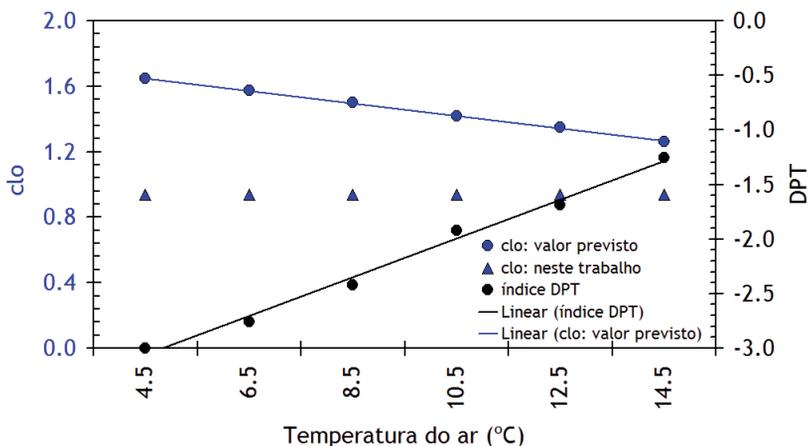


Fig. 8 - Influência da temperatura no clo e na sensação térmica real e prevista.

Fig. 8 - Temperature influence on clo and real and planned thermal sensation.

dições interferem negativamente na motivação, concentração e avaliação dos alunos. Desta forma, é necessário que numa arquitetura escolar se tenha em conta as necessidades de conforto térmico, de forma a proporcionar um ambiente agradável e que favoreça o ensino e aprendizagem (M. C. J. A. Nogueira e J. S. Nogueira, 2003).

O ambiente térmico em salas de aula é um dos fatores que condiciona o processo de aprendizagem em qualquer dos graus de ensino (A. Rebelo *et al.*, 2008). Em salas de aula de duas escolas na Dinamarca um estudo que envolveu cerca de 300 alunos mostrou que o conforto térmico está relacionado com o ensino e aprendizagem (D. Wyon, 2010). Os resultados obtidos mostraram uma diminuição da avaliação de 3,5% dos alunos por cada °C de aumento de temperatura interior da sala de aula.

Num estudo realizado em Portugal foi possível avaliar as condições térmicas no interior de sala de aula e como essas afetavam a avaliação dos alunos, no processo de aprendizagem (M. Talaia e M. Silva, 2015).

A TABELA IV mostra valores registados e calculados para alguns dias onde foi aplicada a estratégia de avaliar a influência da temperatura de ponto de orvalho na aprendizagem de alunos.

TABELA IV - Dados previstos e calculados de uma sala de aula.

TABLE IV - Theoretical and calculated data of a classroom.

| HR (%) | T (°C) | Td (°C) | DPT | rw (g/m ³) | Sensação térmica prevista |
|--------|--------|---------|------|------------------------|---------------------------------|
| 62 | 21.3 | 13.8 | 0.33 | 12.0 | Confortável |
| 50 | 25.7 | 14.7 | 0.94 | 12.7 | Ligeiramente quente |
| 51 | 26.4 | 15.7 | 1.13 | 13.5 | Ligeiramente quente |
| 52 | 27.0 | 16.5 | 1.30 | 14.1 | Ligeiramente quente para quente |

A observação dos dados indicados na TABELA IV mostra que, função das condições térmicas exteriores a sala de aula, há diferentes ambientes térmicos que circundam os alunos na sua aprendizagem. Na primeira linha é mostrada uma condição de ambiente térmico confortável, a temperatura e a humidade relativa estão concordantes ao bem-estar. As duas últimas linhas sugerem um agravamento de um ambiente ligeiramente quente para quente.

Os dados indicados na TABELA IV parecem sugerir que a medida que a temperatura de ponto de orvalho aumenta, ou seja a medida que aumenta a massa volúmica de vapor de água presente no ar húmido são criadas condições de desconforto que afetam o processo ensino e aprendizagem.

A fig. 9 mostra duas imagens para dois ambientes térmicos semelhantes, com previsão de sensação térmica de 1,1 e 1,3 quando são realizadas avaliações.

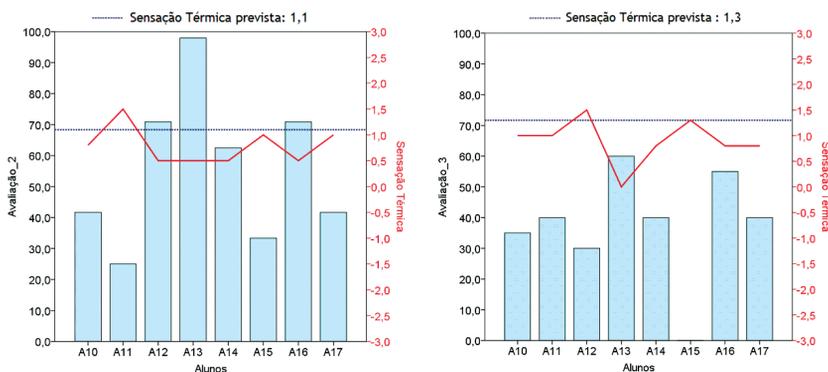


Fig. 9 - Influência da sensação térmica na aprendizagem.

Fig. 9 - Influence of thermal sensation in learning.

A fig. 9 mostra que para uma amostra de alunos a sensação térmica sentida afeta o resultado da avaliação. É verdade que o tipo de vestuário também afeta a sensação térmica sentida e deve ser esperado que um ambiente confortável para um aluno não significa uma resposta direta para todos os restantes. Cada indivíduo é caracterizado pelo seu mecanismo termorregulador que controla o seu bem-estar pela presença de vapor de água do ar húmido envolvente.

Caso 7: fenómenos atmosféricos – nuvens, nevoeiro, neblina, orvalho

O ar húmido é constituído por um gás variável – o vapor de água. A literatura da especialidade mostra que em termos simples só se regista condensação de vapor quando a temperatura é inferior a temperatura de ponto de orvalho. Nestas circunstâncias o excesso de vapor água é obrigado a condensar, em virtude de a cada temperatura estar associado um máximo de vapor de água que é interpretado através da pressão parcial de saturação de vapor de água. O que se referiu equivale a afirmar que a temperatura do ar é sempre superior ou igual a temperatura de ponto de orvalho. Se a diferença entre as duas temperaturas aumenta significa maior poder secante do ar húmido que está associado a uma humidade relativa baixa. Quando as duas temperaturas são iguais a situação é de saturação e a humidade relativa é 100%.

Um exemplo para se entender muito bem a importância da temperatura de ponto de orvalho é pensar que se tem uma parcela de ar, não saturada, à superfície. Se a parcela tiver condições para ascender na atmosfera (sem se misturar com o exterior) o processo é muito próximo do adiabático. Nesta perspetiva é introduzido um parâmetro denominado de temperatura potencial que é extremamente útil na termodinâmica da atmosfera (os processos atmosféricos estarem muitas vezes muito próximos dos processos adiabáticos e portanto, a temperatura potencial permanece praticamente constante). A temperatura potencial de uma parcela de ar é a temperatura que resultaria de um processo de compressão ou expansão adiabaticamente reversível da partícula, inicialmente a uma temperatura T e a uma pressão p , até uma temperatura θ e uma pressão padrão p_0 .

A parcela de ar inicia a sua ascensão com base nas condições termohigrométricas registadas no seu estado termodinâmico inicial (temperatura do ar, temperatura de ponto de orvalho, pressão). Podem, também, ser registados outros parâmetros nomeadamente a humidade relativa do ar, a temperatura potencial, a razão de mistura atual e a razão de mistura de saturação – todos estes estão ligados através da aplicação de expressões que derivam da teoria.

Neste caso, a parcela de ar ao ascender não está saturada (humidade relativa inferior a 100%) até a base da nuvem ou até ao nível de condensação. Esta situação é gerada através da ascensão da parcela de ar húmido através de um processo adiabático antes de atingir a saturação. Durante a ascensão da parcela de ar a razão de mistura do ar húmido atual (determinada pela temperatura de ponto de orvalho e pelo nível isobárico no estado inicial) e a sua temperatura potencial (determinada pela temperatura do ar e pelo mesmo isobárico) permanecem constantes. Como a temperatura do ar diminui em altitude (há casos de inversão) a razão de mistura de saturação (determinada pela temperatura do ar e pelo nível isobárico no estado inicial) diminui até se tornar igual a razão de mistura atual (a do estado inicial) no nível de condensação ou base da nuvem. Assim, o nível de condensação está localizado na intersecção da linha de temperatura potencial que passa pela temperatura e pressão da partícula de ar (p, T) com a linha da razão de mistura atual que passa pela temperatura de ponto de orvalho e pressão ($p; T_d$). A interpretação física para a deteção da base da nuvem ou nível de condensação está ligada a temperatura de ponto de orvalho ou seja a massa volúmica de vapor de água que o ar húmido contém no estado inicial (neste exemplo sem se misturar com o exterior). Pode-se concluir que se a parcela de ar que inicia a sua ascensão registar a mesma temperatura no mesmo nível, o que determina a altitude da base da nuvem ou nível de condensação é a temperatura de ponto de orvalho, ou seja quanto mais próxima for esta da temperatura do ar mais próxima está a base da nuvem da superfície terrestre. Quanto maior diferença se registar entre as duas temperaturas mas alta esta a base da nuvem. Agora, se a parcela de ar já saturada tiver condições de continuar a ascender, passa a ascender por uma nova linha denominada de temperatura potencial equivalente (associada a uma linha adiabática satura que

pode suscitar um processo reversível ou irreversível). Nesta linha a temperatura do ar mantém-se em cada nível igual a temperatura de ponto de orvalho. A humidade relativa será sempre 100% e o excesso de vapor de água devido ao arrefecimento da parcela de ar saturada é obrigado a condensar formando agora a nuvem com inúmeras gotículas de água.

A fig. 10 mostra o processo da ascensão da parcela de ar desde o estado inicial. Na imagem a nuvem envolve a linha da temperatura potencial equivalente ou adiabática saturada. É nesta zona ou dentro da nuvem que há condensação de vapor de água.



Fig. 10 - Movimento ascendente de ar na atmosfera (adaptado de V. Iribarne e H. R. Cho, 1980).

Fig. 10 - *Upward movement of air in the atmosphere adapted from V. Iribarne e H. R. Cho, 1980).*

O processo de crescimento das gotículas de água, uma vez formadas, é feito por difusão do vapor de água que se encontra à sua volta. Este é, no entanto, um processo de crescimento bastante complexo. Pode-se afirmar que o crescimento espontâneo das gotículas de água depende do número e do tipo de aerossóis presentes (nem todos os aerossóis têm grande afinidade com a água), bem como do raio das próprias gotículas de água. Uma vez iniciada a condensação, a difusão

de vapor de água em relação à gotícula de água só continuará, se a pressão de saturação de vapor de água do ar húmido da vizinhança for superior a pressão parcial de vapor de água da gotícula de determinado raio. Caso contrário há condições para a gotícula de água diminuir de tamanho. No entanto, deve-se ressaltar que a pressão de saturação de vapor de água sobre uma gotícula de água depende do seu raio para uma dada temperatura, e que a pressão de vapor de saturação sobre a gotícula de água diminui com o aumento do raio da gotícula. Nestes casos, a tensão superficial na interface líquido/ar da gotícula de água também é importante. Numa nuvem há uma competição entre gotículas para o seu crescimento e este depende do vapor de água disponível. No processo de difusão as gotículas de água podem crescer até atingirem o raio crítico.

As gotículas de água podem também crescer por colisão, coalescência e agregação. Para cada processo há modelos teóricos disponíveis. Quanto maior for a gota de água mais complexo é o processo pois são necessários conhecimentos de cinemática, dinâmica e ventilação ou de captação de uma gotícula de água. A gotícula de água que cresce tenta aumentar o seu tamanho com base na sua eficiência de captação de outras gotículas de água que estão no seu movimento. Uma gota de água só atinge a superfície da Terra se durante o seu movimento encontrar ar húmido com características de manter a sua identidade. Por exemplo, se a pressão parcial de saturação do ar a temperatura do ar que circunda a gota for superior a pressão de saturação da gota há tendência para a gota enfraquecer e não ocorrer precipitação, pois ela pode evaporar totalmente durante o seu movimento de queda.

Se durante a noite uma parcela de ar não saturada arrefecer isobaricamente o processo liga dois conceitos, a pressão parcial de saturação à temperatura do ar húmido que determina a razão de mistura de saturação e a pressão parcial de saturação à temperatura de ponto de orvalho que determina a razão de mistura atual (a quantidade de vapor de água existente no ar húmido por cada quilograma de ar seco). O arrefecimento da parcela de ar obriga a que a razão de mistura de saturação também diminua. Quando esta razão de mistura for igual a razão de mistura atual ou seja quando a temperatura do ar igualar a temperatura de ponto de orvalho a parcela de ar torna-se saturada. Qualquer arrefecimento de

uma superfície que atinja valores inferiores a temperatura de ponto de orvalho provoca a condensação de vapor de água, formando eventuais gotas chamadas de gotas de orvalho ou uma película de água sobre essa superfície. Se durante esse arrefecimento se registarem temperaturas negativas dá-se a formação de geada. Normalmente a formação do orvalho sobre uma superfície acontece para noites com uma atmosfera transparente, ausência de vento e quando a temperatura da superfície se torna inferior a temperatura de ponto de orvalho do ar circundante.

A formação de nuvens, nevoeiro e neblina assenta sobre o mesmo processo e está associado a uma humidade relativa alta, ou seja a temperatura de ponto de orvalho associada a pressão parcial de saturação de vapor de água a temperatura de ponto de orvalho está próxima da temperatura do ar que está associada a pressão parcial de saturação de vapor de água a temperatura do ar. Se na atmosfera o arrefecimento do ar húmido for suficiente e for inferior a temperatura de ponto de orvalho, haverá condensação do vapor de água (devido ao excesso de vapor de água) nos aerossóis presentes no ar e formar-se-á nevoeiro ou neblina ou nuvens. Chamar nevoeiro ou neblina ou nuvem é apenas uma questão de referencial ou de ponto de vista. A diferença entre nevoeiro e neblina está na transparência da atmosfera através da visibilidade horizontal. Nevoeiro regista uma concentração de gotículas de água muito superior à neblina. De salientar que nevoeiro, forma-se por diferentes situações.

Apresenta-se um interessante exemplo em que se forma orvalho, durante o verão. Na prática, a formação de orvalho é vista muitas vezes quando se bebe um copo de sumo ou água com gelo. Quando se coloca gelo nos líquidos que estão nos copos, a superfície exterior dos copos arrefece e se a temperatura dessa superfície for inferior a temperatura de ponto de orvalho do ar húmido circundante, o excesso de vapor é obrigado a condensar formando imensas gotas a escorrer na superfície exterior dos copos. Se os líquidos contidos nos copos se mantiverem haverá transferência de energia sobre a forma de calor entre o líquido, a parede exterior dos copos e o ar húmido circundante. Copos e líquidos aumentam a temperatura da superfície da parede exterior dos copos e a água presente nessa parede tende a evaporar e a desaparecer. É um autêntico “jogo” entre a temperatura de uma superfície e a temperatura de ponto de orvalho do ar húmido que envolve os copos.

Conclusão

A contribuição deste trabalho é valorizar a temperatura de ponto de orvalho como um indicador avaliador da quantidade de vapor de água existente num volume de ar húmido.

O trabalho mostrou a importância da temperatura de ponto de orvalho como uma necessidade ou um risco em diferentes cenários. Em cada um deles foi considerada a ligação do vapor de água contido no ar húmido a uma dada temperatura e como afeta o bem-estar de uma pessoa e da vida no planeta Terra. Num estudo publicado por (S. Nogueira e M. Talaia, 2014) foi mostrada para atividade de Aerostep que beber água durante o exercício físico é uma condição necessária mas não suficiente. O estudo mostrou a fâlcia do organismo de participantes pela agressividade do ar húmido circundante por provocar desidratação nos participantes, ou seja, a evaporação da película de água devida a transpiração não era suficiente para termorregular a temperatura interna corporal. A temperatura do ar funcionou como “mata-borrão” para o vapor de água, aumentando ligeiramente a temperatura de ponto de orvalho do ar húmido, no entanto não fez o equilíbrio na termorregulação do balanço energético.

Este trabalho apresentou um indicador de sensação térmica baseado na temperatura do ar e na temperatura de ponto de orvalho. A análise de dados mostrou ser concordante com o índice EsConTer desenvolvido por (M. Talaia e H. Simões, 2009) e que foi introduzido em conferências e revistas. Hoje já aceite pela comunidade científica internacional (M. Morgado *et al.*, 2015).

A contribuição deste trabalho, também, está alicerçada na importância da temperatura de ponto de orvalho que afeta o dia-a-dia de cada ser vivo. Sem temperatura de ponto de orvalho não existe vida na Terra e esta afirmação está associada a definição de ar húmido (o vapor de água controla a sensação térmica e a vida do planeta). As secas estão associadas a falta de vapor de água na atmosfera e ao aquecimento global. O IPCC (painel intergovernamental para as alterações climáticas) apresenta vários cenários para o planeta Terra. Se a temperatura do ar aumentar, como é esperado, a pressão parcial de sa-

turação de vapor de água a temperatura do ar aumenta o que agrava o poder secante do ar húmido. Nesta perspectiva esperam-se alterações nos ecossistemas. A vida está associada a temperatura de ponto de orvalho e o vapor de água contido no ar húmido gera condições de conforto para a existência da vida no planeta. Concluiu-se que a temperatura de ponto de orvalho está associada a vida e que sem ela não há vida pelo que os patamares de tolerância para a vida devem ser respeitados em função da temperatura do ar e da temperatura de ponto de orvalho. Está nas “mãos” da humanidade respeitar a sustentabilidade do planeta, ao se dar atenção a esta problemática está-se a respeitar o ciclo da água na atmosfera. Uma questão fica para resposta futura “como se determina o patamar de tolerância da vida no planeta Terra?”. As gerações vindouras interpretarão os resultados, se tiverem esta oportunidade.

Por último, é relevante afirmar que o vapor de água não é observável pela visão humana (infelizmente ainda há inúmeros profissionais do ensino que ensinam os seus alunos informando que o vapor de água se vê) o que pode ser um inconveniente para a humanidade. A verdade é que o vapor de água gera fenómenos atmosféricos que podem causar grande angústia à vida existente no planeta Terra. Uma analogia interessante pode ser introduzida: assim com a corrente elétrica não se vê mas os seus efeitos são observáveis, o vapor de água (através da temperatura de ponto de orvalho) como uma maravilha da vida deve ser respeitado dentro da gama da sustentabilidade e vida do planeta. Nestas circunstâncias, este trabalho é um contributo para reconhecer que a temperatura de ponto de orvalho está no seio da humanidade, e que deve ser valorizada no ensino e aprendizagem, na cidadania, na sustentabilidade do planeta, no desenvolvimento de capacidades e no pensamento crítico.

Referências bibliográficas

- Ahrens, C. D. (2012). *Essentials of Meteorology: An Invitation to the Atmosphere*. Sixth Edition Brooks/Cole, Cengage Learning, Belmont, USA.
- ASHRAE 55 (2004). *Thermal environmental conditions for human occupancy*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Atlanta: Ashrae.

- Costa, E. R. Q., Baptista, J. S., Diogo, M. T. e Magalhães, A. B. (2011). *Hot thermal environment and its impact in productivity and accidents*. Artigo apresentado em International Symposium on Occupational Safety and Hygiene – SHO 2011.
- Dias, A. (2013). *Avaliação da percepção da influência do conforto térmico na produtividade*. (Mestrado em Engenharia Humana), Universidade do Minho, Minho.
- Eskinazi, S. (1975). *Fluid Mechanics and Thermodynamics of our environment*. Academic Press Inc, New York.
- Holmér, I., Granberg, Per-Ola e Dahlstrom, G. (1999). *Ambientes fríos y trabajo com frío*. Enciclopedia de Seguridad y Salud en el trabajo. OIT. Cap.42, 32-60.
- Iribarne, J. V. and Cho, H. R. (1980). *Atmospheric physics*. R. Reidel Publishing Company, Dordrecht.
- ISO 7730 (2005). *Ergonomie des ambiances thermiques- Détermination analytique et interprétation du confort thermique par le calcul des indices PMV et PPD et par des critères de confort thermique local*. (International Standardization Organization, Ed.). Geneva, Suisse.
- Kim, T., Tochihara, Y., Fujita, M. e Hashiguchi, N. (2007). Physiological responses and performance of loading work in a severely cold environment. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 37(9), 725-732.
- Liu, J., Yao, R., Wang, J. e Li, B. (2012). Occupants' behavioral adaptation in workplaces with non-central heating and cooling systems. *Applied Thermal Engineering*, 35, 40-54
- Meles, B. A. (2012). *Ergonomia Industrial e Conforto Térmico em postos de trabalho*. Dissertação publicada. Universidade de Aveiro.
- Morgado, M., Talaia, M. e Teixeira, L. (2015). A new simplified model for evaluating thermal environment and thermal sensation: An approach to avoid occupational disorders, *International Journal of Industrial Ergonomics*. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ergon.2015.11.001>.
- Nogueira, M. C. J. A. e Nogueira, J. S. (2003). Educação, meio ambiente e conforto térmico: caminhos que se cruzam. *Revista Electrónica em Educação Ambiental*, 10, 104-108.
- Nogueira, S. e Talaia, M. (2014). Influence of hot thermal environment in practice of Aerostep. *Occupational Safety and Hygiene II*. In Arezes P., Baptista, J.S., Barroso, M.P. & Carneiro, B. (Ed.), SHO2014, (pp. 91-96). CRC Press, Taylor & Franchis Group, London.
- Rebello, A. Baptista, J. S e Diogo, M. T. (2008). *Caracterização das condições de conforto térmico na FEUP*. Proceedings CLME'2008 / II CEM. 5º Congresso Luso – Moçambicano Eng^a – 2º Congresso de Eng^a de Moçambique. Maputo. Editores Silva Gomes, J.F., António, C.C., Clito F. Afonso, C.F & Matos, A.S., Edições INEGI. Artigo 11A009, 14 páginas.
- Salby, M. L. (1995). Fundamentals of atmospheric physics, vol 61 in the *International Geophysics Series*, Edited by Renata Dmowska and James R. Holton, Academic Press, Inc., London.
- Talaia, M. (2015). *Riscos para a saúde: o vestuário numa onda de frio*. Livro de resumos do IX Encontro Nacional de Riscos e II Fórum de Riscos e Segurança do ISCIA. Riscos Globais e Sociedade de Risco. 15 de Maio de 2015. Instituto Superior das Ciências da Informação e da Administração, Aveiro, Portugal, 34.
- Talaia, M. (2016?). Riscos para a saúde num ambiente térmico frio: o vestuário e uma onda de frio. *Territorium*, (submetido).
- Talaia, M. e Ferreira, V. (2010). Stress Térmico na Frente de Fogo no Combate a Incêndio Florestal: Avaliação de Risco. *Territorium*, 17, 85-93.

- Talaia, M., Meles, B. e Teixeira, L. (2013). Worker perception in relation to workplace comfort – a study in the metalworking industry. *Occupational Safety and Hygiene*, SHO2013, 411-412.
- Talaia, M. e Pina, D. (2015). Circulation weather types and their Influence on the risk of respiratory disease, *Territorium*, 23 (in press).
- Talaia, M. e Rodrigues, F. (2008). *Conforto e Stress Térmico: Uma Avaliação em Ambiente Laboral*. Proceedings CLME'2008 / II CEM. 5º Congresso Luso – Moçambicano Engª e 2º Congresso de Engª de Moçambique. Maputo. Editores Silva Gomes, J. F., António, C. C., Clito F. Afonso, C.F & Matos, A. S., Edições INEGI. Artigo 11A020, 15 páginas.
- Talaia, M. e M. Silva (2015). Risco da construção do conhecimento de alunos num ambiente térmico quente. *Territorium*, 22:229-238. Disponível em: http://www.uc.pt/fluc/nicif/riscos/Documentacao/Territorium/T22_Artg/T22_Artg17.pdf.
- Talaia, M. e Simões, H. (2009). EsConTer: um índice de avaliação de ambiente térmico. In: *V Congresso Cubano de Meteorologia*. Somet-Cuba, Sociedade de Meteorologia de Cuba, 1612-1626.
- Tavares, I., Teixeira L. e Talaia, M. (2015). Evaluation of the thermal perception of the workers in an industry with cold thermal environment. In In Arezes, P., Baptista, J.S., Barroso, M. P., Carneiro, P., Cordeiro, P., Costa, N., Melo, R., Miguel, A.S. & Perestrelo, G. (Eds). *SHO2015, SPOSHO - Proceedings of International Symposium on Occupational Safety and Hygiene* (pp. 397-399). Guimarães, Portugal: Campus de Azurém, 12 -13 de Fevereiro.
- WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO) (1987). *World Climate Programme Applications, Climate and Human Health*.
- Wyon, D. (2010). *Thermal and air quality effects on the performance of schoolwork by children*. Disponível em: http://web1.swegon.com/upload/AirAcademy/Seminars/Documentation_2010/Vilnius/David_Wyon.pdf.