

O ORGANISMO HUMANO NUM AMBIENTE DE STRESS TÉRMICO – CASO DE UMA ÁREA COM FORNOS

Talaia, M.A.R. e Rodrigues, F.A.G.
Departamento de Física, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal
mart@fis.ua.pt, fagrodriques@gmail.com

SUMÁRIO

A sensação de bem-estar de um organismo humano pode ser avaliada a partir da combinação, num ambiente, da temperatura radiante média, humidade relativa, temperatura e velocidade relativa do ar com a actividade desenvolvida (metabolismo) e o isolamento térmico da vestimenta.

Neste trabalho investigam-se as condições ambientais interiores de uma nave industrial, onde está instalada uma linha de tratamentos térmicos.

Os resultados mostram um padrão similar de ambiente ao longo do tempo, e as zonas vulneráveis foram determinadas e analisadas.

1. Introdução

Este trabalho analisa as condições ambientais numa nave de tratamentos térmicos durante dois períodos de tempo (Verão e Inverno).

Actualmente o ser humano procura ambientes com certo grau de conforto, preocupando-se com o mobiliário, local do posto de trabalho, parâmetros meteorológicos inerentes ao ambiente térmico, adequação da iluminação e grau de ruído. O ser humano procura bem-estar e qualidade de vida.

A investigação tem mostrado que, produtividade e local de trabalho estão correlacionados e, que os trabalhadores nem sempre consideram o seu ambiente de trabalho como adequado para as funções que têm de desempenhar. Em zonas de desconforto existe stress térmico devido às condições ambientais desfavoráveis, como por exemplo excesso de calor e ruídos que podem suscitar o risco de acidentes e provocar danos à saúde (Grandjean, 1998).

2. Condições ambientais

É sabido que o corpo humano é um sistema termodinâmico, que produz calor e interage continuamente com o ambiente para conseguir o balanço térmico indispensável para a vida. Num ambiente quente o organismo deve accionar os diferentes meios de “luta”, de que dispõe, contra o calor (Talaia, 2004).

Para tentar reequilibrar o balanço térmico regido pelas leis da física e influenciado por mecanismos de adaptação, o organismo reage essencialmente através de sobrecargas fisiológicas (termostática, circulatória e sudação).

O conforto térmico de uma pessoa num determinado ambiente é definido como a sensação de bem-estar, como resultado de uma combinação satisfatória, nesse ambiente, da temperatura radiante média, humidade relativa, temperatura e velocidade relativa

do ar com a actividade desenvolvida (metabolismo) e o isolamento térmico da vestimenta [ISO 7726 (1996) e ISO 7730 (1994)].

Grandjean (1998) mostrou que o calor em excesso em ambientes quentes, provoca cansaço e sonolência, reduz a perspicácia e aumenta a tendência de falhas.

O balanço térmico deve considerar a transferência de energia sob a forma de calor por convecção C , condução K , radiação R e evaporação E . Contudo, para efeitos de cálculo, normalmente o fluxo de calor por condução não é considerado (o contacto das superfícies de contacto com algum elemento sólido é reduzido, em face da superfície total exterior do corpo humano). Assim, a equação de equilíbrio entre a produção interna do calor devida ao metabolismo M e a perda de calor para o meio ambiente é dada por

$$M = \pm C \pm R \pm E \quad (1)$$

Quando a temperatura do ambiente é inferior à temperatura da superfície do corpo (sem influência apreciável de fontes de calor radiante), o corpo dissipa calor e,

$$M = C + R + E \quad (2)$$

Se a temperatura do ambiente é inferior à temperatura da superfície do corpo (influência de fontes de calor radiante), o corpo recebe calor por radiação e,

$$M + R = C + E \quad (3)$$

Se a temperatura do ambiente é superior à temperatura da superfície do corpo (sem influência apreciável de fontes de calor radiante), o corpo recebe calor por convecção e,

$$M + C = R + E \quad (4)$$

Se a temperatura do ambiente é superior à temperatura da superfície do corpo (influência de

fontes de calor radiante), o corpo recebe calor por radiação e por convecção e,

$$M + R + C = E \quad (5)$$

É importante saber que o conforto térmico varia de pessoa para pessoa e que depende das características dos materiais usados no edifício.

Actualmente o ser humano procura criar ambientes com certo grau de conforto preocupando-se com o mobiliário, local do posto de trabalho, ambiente térmico, adequação da iluminação e grau de ruído. Na prática o ser humano procura bem-estar, qualidade de vida e mais produtividade.

3. Material e Métodos

A metodologia adoptada teve em consideração diferentes fases de avaliação e/ou propostas de melhoramento das zonas de desconforto.

Iniciou-se por conhecer a linha de produção e definir os locais de registo das variáveis térmicas.

Fez-se a recolha de dados durante um período considerado de ambiente quente e de ambiente frio, às 10 horas e 15 horas.

Para avaliar zonas de desconforto, foi criada uma grelha de pontos de observação, tipicamente são mini estações meteorológicas.

A partir dos dados registados, produziram-se mapas dinâmicos das diferentes variáveis térmicas e criaram-se mapas dinâmicos de índices de conforto, usando o software Excel e um algoritmo desenvolvido em MatLab.

4. Caracterização da nave industrial

Neste trabalho são analisadas condições ambientais interiores de uma nave industrial onde está instalada uma linha de tratamentos térmicos.

A nave tem uma área de cerca de 1400 m² (20m por 70m) com paredes de alvenaria, de cor clara, com um pé de altura adequado e cobertura tradicional. Numa parede (com comprimento de 70 m) existem duas portas de grandes dimensões que favorecem alguma ventilação.

Na outra parede oposta existem, desfasadas, duas portas normais de passagem.

Junto ao pavimento e segundo o comprimento da nave existe a possibilidade de passagem de ar através de persianas construídas para o efeito.

O equipamento de tratamento térmico está colocado em linha em termos de alimentação de peças e localiza-se num eixo longitudinal central da nave. Num outro espaço está localizado o diferencial de equipamento para complementar o processo de tratamento térmico.

5. Resultados e discussão

A partir dos dados registados traçaram-se linhas de conforto que permitiram detectar zonas de desconforto, para cada dia e hora, obtendo-se um padrão similar.

As Figuras 1 a 3 mostram para um ambiente tipicamente quente (Verão) as linhas de temperatura

do ar, de humidade relativa do ar e de índice de conforto térmico.

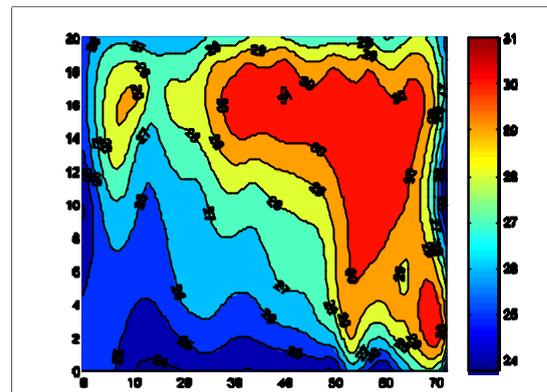


Fig. 1.- Linhas de temperatura do ar, Julho 2005

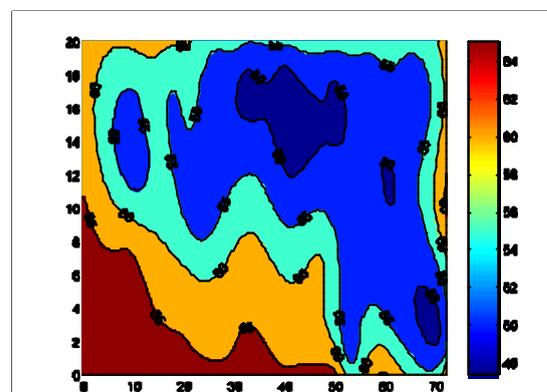


Fig. 2.- Linhas de Humidade relativa do ar, Julho 2005

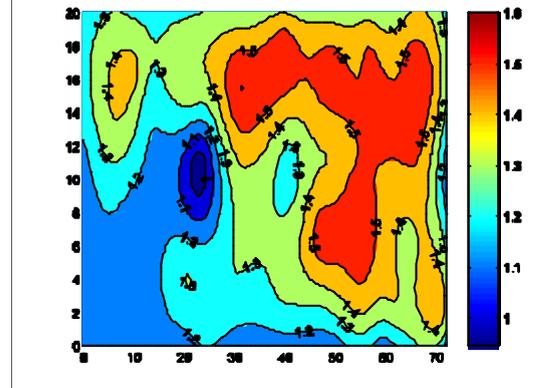


Fig. 3.- Linhas do índice de conforto, Julho 2005

As Figuras 4 a 6 mostram para um ambiente tipicamente moderado ou frio (Inverno) as linhas de temperatura do ar, de humidade relativa do ar e de índice de conforto térmico

As linhas de conforto indicadas, nos gráficos das Figura 3 e 6, foram obtidas através da analogia entre os valores do diagrama de conforto de Carrier (Rodrigues, 1978) e da norma ISO7730 (1994). Esta metodologia está em concordância com o diagrama da W.M.O. (1987).

Os resultados obtidos para os dois períodos de ambiente distintos (ambiente quente durante o mês de Julho e ambiente frio durante o mês de

Dezembro), sugerem, como era de esperar, que zonas vulneráveis de desconforto podem passar a zonas de confortos e vice-versa, basicamente pela influência das condições atmosféricas exteriores à nave.

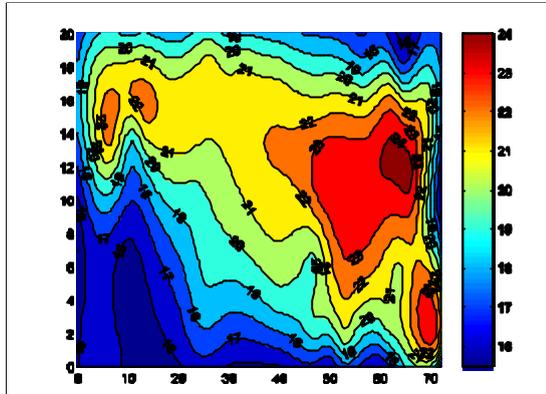


Fig. 4.- Linhas de temperatura do ar, Dezembro 2005

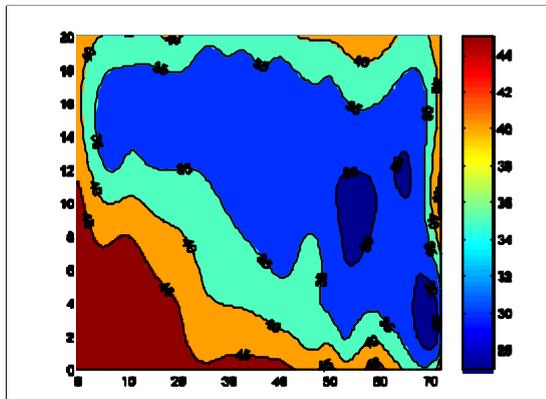


Fig. 5.- Linhas de Humidade relativa do ar, Dez. 2005

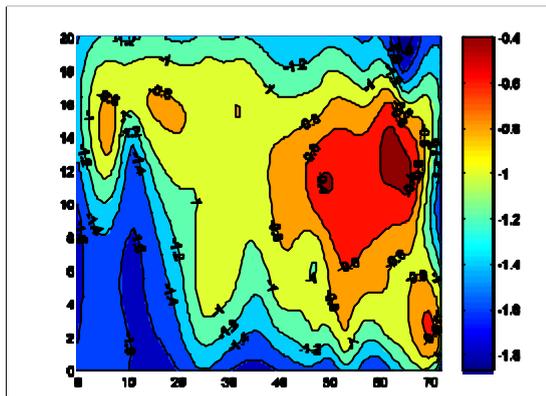


Fig. 6.- Linhas do índice de conforto, Dezembro 2005

A observação das anomalias da temperatura do ar, ao longo dos meses do ano, como é indicado na Figura 7, sugerem e indiciam ambientes diferentes para o interior da nave industrial.

Nesta perspectiva, o conhecimento de um mapa bioclimático ao longo do ano, permite aos gestores industriais a adopção de estratégias de prevenção adequadas, de modo a ser possível, a manutenção

dos índices de produtividade, de qualidade e eventual absentismo.

É bom notar que, para a região de Aveiro, o ano 1997 foi considerado anormal em termos de temperatura (excessivamente quente), o que condicionou, de algum modo, as anomalias registadas na série de anos analisada.

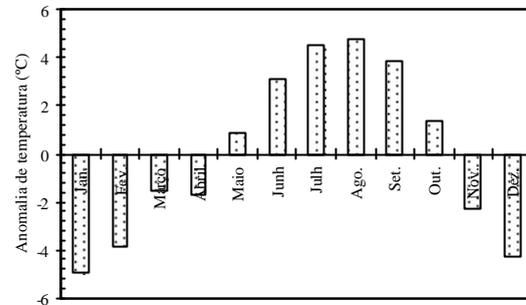


Fig. 7.- Anomalias da temperatura (série de 15 anos)

As zonas de desconforto foram investigadas através da utilização do Critério *WBGT* (Wet Bulb Globe Temperature), de acordo com a ISO 7726 (1996). O critério *WBGT* considera o valor do metabolismo correspondente à actividade e à duração de exposição ou exposições.

Os valores foram comparados com valores típicos limites disponíveis para *WBGT* em função do metabolismo energético e do estado de aclimação e, em função do metabolismo (soma do valor do metabolismo basal, metabolismo de posição e do metabolismo de actividade) e da velocidade do ar.

Para efeitos de cálculo assumimos que

$$WBGT = 0.7T_{wn} + 0.3T_a \quad (6)$$

em que T_{wn} é a temperatura húmida natural e T_a a temperatura do ar.

A temperatura húmida natural foi determinada a partir da expressão,

$$T_{wn} = T_w + 1.5 \quad (7)$$

nas condições de $v_a < 1 \text{ m.s}^{-1}$

A Tabela 1 mostra valores típicos avaliados de stress térmico durante o mês de Julho.

T_{ar} (°C)	U (%)	$WBGT$ (°C)
28.5	57.8	25.7
28.8	56.9	25.6
32.3	42.2	26.5
30.5	51.0	26.3

Tabela 1.- Valores de desconforto (Julho – 2005)

De acordo com as aproximações assumidas, é de esperar que os valores efectivos para *WBGT* serão superiores aos indicados na Tabela 1, o que favorece qualquer conclusão acerca da existência de zona de desconforto, sujeita a stress térmico.

Os valores indicados na Tabela 1 foram registados numa zona da nave de ambiente quente onde se teve a sensação de queimadura de pele (secagem rápida). Os índices avaliados sugerem que os trabalhadores afectos a esta zona vulnerável tenham robustez física. O processo de transpiração é vital para a saúde dos trabalhadores.

A Figura 8 mostra a zona vulnerável (cor vermelha) indicada na Tabela 1.

A observação visual do gráfico da Figura 8 sugere que se a actividade do trabalhador aumentar, ou seja se o metabolismo do trabalhador aumentar, temos uma situação limite para 8 horas de trabalho contínuo, o que sugere medidas de prevenção que terão de ser definidas de imediato.

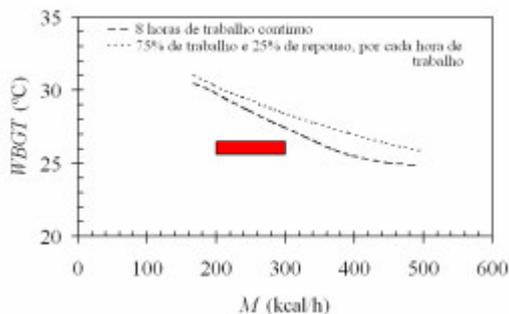


Fig. 8.- Índice térmico WBGT “versus” metabolismo

Interessante é o resultado obtido através da análise da Figura 9.

Na Figura 9 são mostradas as zonas vulneráveis para o Verão (mês de Julho) e o Inverno (mês de Dezembro).

Se para o Verão a zona vulnerável (cor vermelha) aconselha a necessidade de ventilação, para o Inverno a zona vulnerável (cor azul) sugere simultaneamente um ambiente confortável e um ambiente com necessidade de radiação solar (aquecimento).

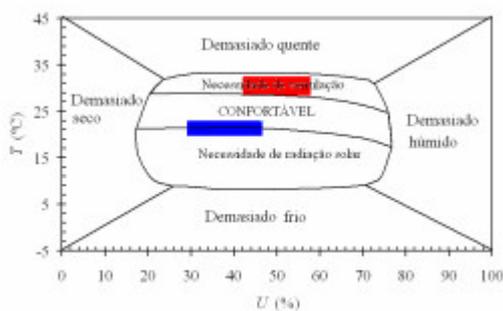


Fig. 9.- Diagrama de conformo (W.M.O., 1987)

Por se tornar oportuna a avaliação de sensação de desconforto por calor, determinou-se um índice de carácter bioclimático de desconforto, denominado Índice de Temperatura Humidade – ITH (Giles *et al.*, 1990, citado por Ganho (1998)) e dado por,

$$ITH = T - 0.55(1 - 0.01U)(T - 14.5) \quad (8)$$

A Tabela 2 mostra os valores determinados para o índice de temperatura humidade, para os dois períodos.

Os valores indicados na Tabela 2 sugerem para Dezembro, período da manhã e período da tarde, ausência de desconforto por calor.

Para Julho, os valores indicados para o período da manhã sugerem que 50% dos trabalhadores manifestam sensação de calor e que, no limite superior, o ambiente pode criar condições para mais de 50% dos trabalhadores sentirem desconforto. Também para Julho, os valores indicados para o período da tarde sugerem que mais de 50% dos trabalhadores sentem desconforto e que na situação de limite inferior, podem ser criadas condições ambientais, em que 50% dos trabalhadores manifestam sensação de calor.

Índice:	Mês de:	Durante a:
$ITH \leq 19.6$	Dezembro	manhã
$ITH \leq 20.4$	Dezembro	tarde
$22.1 \leq ITH \leq 24.4$	Julho	manhã
$23.5 \leq ITH \leq 26.3$	Julho	tarde

Tabela 2.- Valores de ITH (Julho e Dezembro – 2005)

Os resultados encontrados e analisados a partir do ITH confirmam as conclusões anteriores.

Na prática, um ambiente desconfortável pode tornar-se confortável e vice-versa. As condições ambientais exteriores ao edifício são determinantes na definição de bem-estar.

6. Considerações finais

Este estudo mostra a importância da ligação entre a indústria e a meteorologia.

A partir de cerca de 40 postos de medição de parâmetros meteorológicos, criaram-se mapas dinâmicos da temperatura, da humidade relativa do ar e índices de conforto / desconforto.

Foi detectada e investigada uma zona de padrão de sensação desconforto.

Os índices de conforto, avaliados a partir de diferentes métodos, permitiram concluir que a zona vulnerável é de ambiente quente para o Verão e que são necessárias estratégias, dentro de certos limites, para melhorar as condições de trabalho.

Se houver necessidade do trabalhador permanecer durante muito tempo na zona mais desfavorável, deve ser substituído em rodízio.

A instalação de ventilação apropriada pode anular o desconforto e conseqüente stress térmico do trabalhador.

Este tipo de investigação parece ter grande entusiasmo por parte da indústria, quando hoje se começa a falar tanto do problema energético e melhoria de índices de produtividade.

Por último, este trabalho mostra a importância da ligação entre a indústria, a meteorologia e a medicina de trabalho.

Referências

- Ganho, N., 1998. O Clima de Coimbra. Estudo de Climatologia local aplicada ao ordenamento urbano. *Dissertação de Doutoramento em Geografia apresentada à F.L.U.C., Coimbra.*
- Grandjean, E., 1998. Manual de Ergonomia – Adaptando o Trabalho ao Homem. 4ª Edição traduzida por Stein J.P., Artes Médicas, Porto Alegre. 338p.
- ISO 7726, 1996. Thermal Environments – Instruments and Methods for measuring physical Quantities. *International Organization for Standardization.*
- ISO 7730, 1994. Moderate Thermal Environments – Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort. *International Organization for Standardization.*
- Rodrigues; B.C.M., 1978. A Bioclimatologia e a Produtividade Laboral, Vol. 1, *Instituto Nacional Meteorologia Geofísica.* Lisboa, Portugal.
- Talaia, M.A.R., 2004. O Conforto Humano e as Alterações Ambientais. *Proceedings of the XXVIII Jornadas Científicas, La Meteorologia y El Clima Atlânticos, 5º Encuentro Hispano-Luso de Meteorologia: La Meteorologia y Climatologia en los Sectores Público y Privado.* CDROM, ISBN: 84-8320-261-1, Badajoz, Espanha, pp. 474-483.
- W.M.O., 1987. World Climate Programme Applications, Climate and Human Health. *World Meteorological Organization.*