



6 a 8 de outubro de 2010 - Canela RS

ENTAC 2010

XIII Encontro Nacional de Tecnologia
do Ambiente Construído

POSSIBILIDADES DE ADAPTAÇÃO EM AMBIENTES EXTERNOS: USO DE VESTIMENTAS E PRÁTICA DE ATIVIDADES EM FUNÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO URBANO

Leonardo Marques Monteiro (1); Marcia Peinado Alucci (2)

(1) Departamento de Tecnologia – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
Universidade de São Paulo, Brasil – e-mail: leo4mm@gmail.com

(2) Departamento de Tecnologia – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
Universidade de São Paulo, Brasil – e-mail: marcialu@usp.br

RESUMO

O tema geral desta pesquisa são as relações entre variáveis microclimáticas urbanas (temperatura, umidade e velocidade do ar e radiação térmica) e variáveis subjetivas (percepção de sensações térmicas), mediadas por variáveis individuais (vestimentas e atividade física), possibilitando a predição do grau de adequação térmica de espaços abertos para uma população adaptada às condições climáticas em que se encontra. Em específico discutem-se as possibilidades permitidas em ambientes externos com relação ao uso de diferentes vestimentas e à prática de atividades diversas em função da possibilidade de adaptação frente às condições de conforto térmico. O objetivo da pesquisa é, assim, verificar a influência de diferentes taxas metabólicas (por meio de atividades físicas comumente praticadas em espaços urbanos) e de diferentes isolamentos térmicos de roupas (também comumente utilizados em espaços urbanos abertos), na sensação térmica dos usuários. Para tanto, foram considerados métodos indutivo experimental (levantamento em campo de variáveis microclimáticas, individuais e subjetivas), estatístico (regressão numérica), analítico (balanço termo-fisiológico) e comparativo (temperatura equivalente). Como resultado final obteve-se a proposição de um índice de temperatura equivalente para avaliação do conforto térmico em espaços abertos na cidade de São Paulo. Ressalta-se aqui a contribuição e originalidade do trabalho na medida em que pesquisas específicas de quantificação dessas correlações para espaços abertos são recentes internacionalmente, não havendo índice estabelecido para São Paulo. São considerados os levantamentos empíricos de setenta e duas situações microclimáticas e da aplicação de quase dois mil questionários, os procedimentos para correlações entre as variáveis temperatura, umidade e velocidade do ar e temperatura radiante média e a percepção de sensação térmica levantadas empiricamente e, finalmente, a proposição do índice de temperatura equivalente percebida. Os resultados apresentam as correlações obtidas para cada variável em questão, concluindo com a incorporação dos resultados no modelo de temperatura equivalente percebida. Os resultados finais apresentam a possibilidade de adaptação dos usuários de espaços abertos em função de variação de vestimentas e de práticas de atividades diferenciadas típicas de ambientes urbanos metropolitanos em função da variabilidade das condições climáticas em condições típicas de verão e inverno.

Palavras-chave: conforto térmico; espaços urbanos abertos; adaptação.

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho avalia o conforto térmico em espaços urbanos abertos, levando em consideração as variáveis individuais vestimenta, que caracteriza diferentes valores de isolamento térmico e atividade física, que implica em diferentes taxas metabólicas. O método empregado é experimental, com medições empíricas de temperatura do ar, umidade do ar, velocidade do vento e temperatura média radiante. Os levantamentos foram realizados em três áreas diferentes de um bairro na cidade de São Paulo, durante o verão e o inverno, com a aplicação de quase dois mil cento e cinquenta questionários de conforto térmico.

Com relação ao isolamento da roupa, foram utilizadas as variações verificadas em relação aos valores médios encontrados nos levantamentos empíricos nas diversas situações ambientais observadas. Com relação a prática de atividades, modelos preditivos que apresentaram as maiores correlações com os resultados dos levantamentos de campo (Monteiro e Alucci, 2007a e 2007b) foram utilizados, por meio de estudos analíticos, para a predição das sensações térmicas em situações com taxas metabólicas diferenciadas. Contudo, deve-se ressaltar que sem os levantamentos empíricos, não se poderia afirmar se tais modelos forneceriam resultados satisfatórios.

Os próximos itens apresentam respectivamente os procedimentos realizados para a consideração do isolamento da roupa, propondo um modelo para sua predição, possibilitando assim a verificação de um modelo para as vestimentas comumente utilizadas nos espaços abertos urbanos e os seus respectivos resultados. Os itens subsequentes consideram diferentes taxas metabólicas e seu efeito em função do conforto térmico urbano, considerando as atividades comumente realizadas em espaços abertos e os subsequentes resultados obtidos.

2 OBJETIVO

O objetivo deste artigo é apresentar a verificação das possibilidades de adaptação, em função do conforto térmico urbano, em situações ambientais externas, considerando em específico o uso de vestimentas (diferentes isolamentos térmicos de roupas comumente utilizadas em espaços urbanos abertos) e a prática de atividades (diferentes taxas metabólicas por meio de atividades físicas comumente praticadas em espaços urbanos abertos).

3 MÉTODOS

Os levantamentos de campo e dados coletados (microclimáticos, pessoais e respostas subjetivas) são descritos no artigo “*O uso da vegetação como cobertura em espaços urbanos abertos*” (Monteiro e Alucci, 2010), também publicado nestes anais.

3.1 Vestimentas

São apresentados aqui os procedimentos para a determinação de um modelo para estimativa do isolamento térmico da roupa, com base nos dados empíricos levantados. O modelo final permite prever o isolamento térmico da roupa com base em dados microclimáticos ambientais. Apresentam-se aqui as regressões realizadas para o conjunto mais restrito de situações microclimáticas. Considerando-se que temperatura do ar e umidade relativa apresentam alta correlação devido a definição desta última variável, esta não foi inicialmente considerada. A regressão de dados levou à equação seguinte, com caracterização estatística apresentada nas tabelas subsequentes.

$$I_{cl} = 0,980 - (0,0196 \cdot t_{ar}) + (0,0467 \cdot v_{ar}) + (0,00168 \cdot t_{rm}) \quad (\text{eq.1})$$

com: $r = 0,609$; $r^2 = 0,370$; $r^2_{aj} = 0,323$; $ep = 0,052$; $p < 0,001$

Tabela 1 - Resumo estatístico da constante e das três variáveis independentes

| | c | ep | t | p | VIF |
|-----------|----------|-----------|----------|----------|------------|
| Constante | 0,980 | 0,120 | 8,146 | <0,001 | |
| t_{ar} | -0,0196 | 0,00579 | -3,381 | <0,001 | 2,562 |
| v_{ar} | 0,0467 | 0,0251 | 1,860 | 0,172 | 1,152 |
| t_{rm} | 0,00168 | 0,00134 | 1,253 | 0,219 | 2,348 |

Tabela 2 - Análise de variância para a regressão com três variáveis independentes

| | DF | SS | MS | F | p |
|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| Regressão | 3 | 0,0736 | 0,0245 | 9,106 | <0,001 |
| Resíduo | 32 | 0,0863 | 0,00270 | | |
| Total | 35 | 0,160 | 0,00457 | | |

Conforme pode se verificar, o valor de p, para o teste t, para as variáveis v_{ar} e t_{rm} é bastante elevado, indicando que possivelmente não contribuam significativamente para a predição da variável dependente I_{cl} . Como a temperatura do ar apresenta valor de p muito reduzido ($p < 0,001$) possivelmente ela é capaz de, individualmente, prever a variável independente em questão. Essa suposição é testada a seguir. Os resultados para a regressão linear simples da variável temperatura do ar são apresentados na sequência.

$$I_{cl} = 0,989 - 0,0166 \cdot t_{ar} \quad (\text{eq.2})$$

com: $r = 0,595$; $r^2 = 0,354$; $r^2_{aj} = 0,335$; $ep = 0,055$; $p < 0,001$

Tabela 3 - Resumo estatístico da constante e da variável independente.

| | c | ep | t | p | VIF |
|-----------|----------|-----------|----------|----------|------------|
| Constante | 0,989 | 0,0941 | 10,513 | <0,001 | |
| t_{ar} | -0,0166 | 0,00384 | -4,318 | <0,001 | - |

Tabela 4 - Análise de variância para a regressão linear da variável independente.

| | DF | SS | MS | F | p |
|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| Regressão | 1 | 0,0566 | 0,0566 | 18,642 | <0,001 |
| Resíduo | 34 | 0,103 | 0,00304 | | |
| Total | 35 | 0,160 | 0,00457 | | |

Os resultados apresentados confirmam a hipótese levantada no item anterior. A correlação apresentada apenas pela variável temperatura do ar (0,595) é bastante significativa se comparada com a correlação com três variáveis dependentes (0,609). Inclusive, o valor de r quadrado ajustado é maior: 0,335 contra 0,323. Por fim, considerando-se o teste estatístico F, observa-se um valor bem maior para a regressão apenas com a variável t_{ar} (18,642 contra 9,106), indicando que essa variável independente sozinha prediz mais significativamente a variável dependente do que quando considerada conjuntamente com as duas outras variáveis independentes. Contudo, deve-se observar que as correlações obtidas são relativamente baixas, permanecendo em torno de 0,6. A seguir, é realizado o mesmo estudo, considerando-se a totalidade dos dados levantados. É verificado que, com um maior número de dados e maior abrangência de situações microclimáticas, obtêm-se melhores correlações.

A seguir são apresentadas as regressões realizadas para o conjunto mais abrangente de dados, considerando-se as setenta e duas situações microclimáticas e os 1750 levantamentos individuais realizados. Apenas por uniformidade de raciocínio, partiu-se da suposição de que o isolamento da roupa apresenta correlação com uma ou mais variáveis microclimáticas, ainda que o estudo anterior já aponte para a necessidade de regressão apenas da variável temperatura do ar. Conforme já argumentado anteriormente, também não é considerada aqui a umidade relativa do ar. A regressão de dados levou à equação a seguir, com caracterização estatística apresentada nas tabelas seguintes.

$$I_{cl} = 1,237 - 0,0312 \cdot t_{ar} - 0,0179 \cdot v_{ar} + 0,00308 \cdot t_{rm} \quad (\text{eq.3})$$

com: $r = 0,844$; $r^2 = 0,712$; $r^2_{aj} = 0,707$; $ep = 0,064$; $p < 0,001$

Tabela 5 - Resumo estatístico da constante e das três variáveis independentes (variável dependente: I_{cl})

| | c | ep | t | p | VIF |
|-----------|----------|-----------|----------|----------|------------|
| Constante | 1,237 | 0,0504 | 24,527 | <0,001 | |
| t_{ar} | -0,031 | 0,0029 | -10,77 | <0,001 | 2,1 |
| v_{ar} | -0,018 | 0,022 | -0,814 | 0,418 | 1,135 |
| t_{rm} | 0,0031 | 0,0011 | 2,854 | 0,006 | 1,915 |

Tabela 6 - Análise de variância para a regressão com três variáveis independentes (variável dependente: I_{cl})

| | DF | SS | MS | F | p |
|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| Regressão | 3 | 0,75 | 0,25 | 61,01 | <0,001 |
| Resíduo | 68 | 0,279 | 0,0041 | | |
| Total | 71 | 1,028 | 0,0145 | | |

Assim como verificado anteriormente, a temperatura do ar é a única a apresentar valor de p muito reduzido ($p < 0,001$), podendo assim possivelmente ser capaz de, individualmente, prever a variável independente em questão. A regressão linear simples é testada a seguir. Os resultados para a regressão linear simples da variável temperatura do ar são apresentados na sequência.

$$I_{cl} = 1,203 - 0,0263 \cdot t_{ar} \quad (\text{eq.4})$$

com: $r = 0,832$; $r^2 = 0,691$; $r^2_{aj} = 0,687$; $ep = 0,067$; $p < 0,001$

Tabela 7 - Resumo estatístico da constante e da variável independente.

| | c | ep | t | p | VIF |
|-----------|----------|-----------|----------|----------|------------|
| Constante | 1,203 | 0,0515 | 23,373 | <0,001 | |
| t_{ar} | -0,026 | 0,0021 | -12,53 | <0,001 | - |

Tabela 8 - Análise de variância para a regressão linear da variável independente.

| | DF | SS | MS | F | p |
|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| Regressão | 1 | 0,711 | 0,711 | 156,87 | <0,001 |
| Resíduo | 70 | 0,317 | 0,0045 | | |
| Total | 71 | 1,028 | 0,0145 | | |

Conforme pode ser depreendido dos resultados encontrados, a correlação apresentada apenas pela variável temperatura do ar (0,83) é bastante significativa se comparada com a correlação com três variáveis dependentes (0,84). Considerando-se o teste estatístico F, observa-se um valor bem maior para a regressão apenas com a variável t_{ar} no conjunto de dados mais abrangentes (156,87 contra 61,01), reiterando que essa regressão apresenta melhores resultados.

3.2 Atividades

Consideram-se aqui diferentes taxas metabólicas, considerando as atividades comumente realizadas em espaços abertos e os consequentes resultados obtidos. Assim, são considerados a seguir os modelos para realização do balanço termofisiológico e da predição da velocidade relativa entre o ar e o indivíduo. Na sequência, são apresentados os procedimentos para simulação.

Considerando-se o conjunto mais abrangente de dados, com setenta e duas situações microclimáticas e 1750 questionários aplicados, verificou-se em Monteiro e Alucci (2007a e 2007b) que os modelos que apresentaram melhores resultados correlativos com a base empírica foram o MENEX (Blazejczyk, 1996; *apud* Blazejczyk, 2002a, 2002b), com a utilização do índice de carga térmica (Blazejczyk *et al.*, 2000), e o de Sevilha (Dominguez *et al.* 1992), com a utilização da taxa de suor requerida. Esse último baseia-se no modelo de Vogt *et al.* (1981), que também considera a taxa de suor requerida. Esse modelo apresentou resultados satisfatórios, com correlações apenas um pouco inferiores às dos dois modelos citados. Deve-se observar que o modelo de Sevilha destina-se apenas, a princípio, à verificação de situações térmicas de calor. Desta forma, é utilizado aqui o modelo de balanço termofisiológico MENEX, proposto por Blazejczyk (1996), mas com algumas alterações. Devido às características próprias desse modelo, que considera a radiação solar independentemente por meio de

correlações empíricas, optou-se por considerar as trocas térmicas radiativas de onda longa de acordo com Vogt *et al.* (1981), utilizando-se ainda para os ganhos de radiação solar o proposto por Dominguez *et al.* (1992). O trabalho desses autores foi apresentado em Monteiro e Alucci (2005a e 2005b). É aqui utilizado um modelo híbrido baseado nos autores citados, considerando-se como critério de interpretação o índice de carga térmica proposto por Blazejczyk *et al.* (2000), por ser, dentre os derivados de modelos analíticos que consideram situações térmicas de calor e de frio, o que apresentou as melhores correlações com a base empírica em utilização.

Considerando-se as atividades em espaços abertos, parte delas envolve deslocamentos. Em certos casos o deslocamento é o que caracteriza a atividade, como ocorre nos locais de passagem. Assim, nesses casos, é necessária a consideração não apenas da velocidade do ar, mas sim da velocidade relativa entre o ar e o indivíduo, uma vez que em muitos casos a velocidade do indivíduo é mais significativa do que a do ar. São então aqui descritos alguns modelos para predição da velocidade relativa entre o ar e o indivíduo. A norma ISO 7933 (1989) propõe a utilização de velocidade do ar corrigida em função da taxa metabólica, utilizando-se o menor valor resultante das equações seguintes.

$$v_r = v_{ar} + 0,0052 \cdot (M-58) \quad (\text{eq.5})$$

$$v_r = v_{ar} + 0,7 \quad (\text{eq.6})$$

onde: v_r é a velocidade relativa entre o ar e o indivíduo, em m/s; v_{ar} é a velocidade do ar, em m/s;

M é a taxa metabólica, em W/m^2

Essa modelagem foi gerada por meio da regressão de dados obtidos em estudos com trabalhadores braçais em situações térmicas de calor. Por não envolver necessariamente deslocamentos, mas sim atividades físicas mais pesadas, acredita-se não ser um modelo adequado para a consideração da velocidade relativa entre o ar e o indivíduo em espaços abertos. Blazejczyk (2001), para a consideração da velocidade relativa entre o ar e o indivíduo, propõe a equação seguinte.

$$v_r = (v_{ar} + v_i)^{0.4} \quad (\text{eq.7})$$

onde: v_i = velocidade do indivíduo, em m/s

Contudo, considerando-se resultados da referida equação, verifica-se um achatamento nos valores resultantes de velocidade relativa do indivíduo. Assumindo-se valores de 0,1m/s a 3,6m/s para a velocidade do ar e de 0,9m/s a 1,7m/s para a velocidade do indivíduo, verifica-se que o limite inferior da velocidade relativa é de 1,0m/s, sendo portanto o equivalente à soma numérica das velocidades mínimas. Por outro lado, o limite superior é de 1,9m/s, sendo assim exatamente igual à diferença numérica das velocidade máximas. Deste modo, considerando-se os limites a serem utilizados neste trabalho, o modelo em questão, coincidentemente, acaba por fornecer resultados que, por um extremo caracterizam a concordância da direção e sentido dos vetores das velocidades e, por outro, a oposição de sentidos em uma mesma direção dos mesmos referidos vetores. Não é claro o objetivo do achatamento dos valores, sendo que para velocidades do ar ainda maiores, devido ao expoente da equação, o achatamento se acentua. Por esse motivo, esse modelo não parece adequado ao caso em questão, por aparentemente subestimar a ação conjunta das velocidades do ar e do indivíduo exatamente quando essas assumem valores mais significativos. Jendritzky (1991; *apud* Jendritzky, 2003) propõe a utilização da velocidade relativa entre o ar e o indivíduo, considerando-se a soma vetorial das mesmas.

$$\vec{v_r} = \vec{v_{ar}} + \vec{v_i} \quad (\text{eq.8})$$

Para tanto, é necessário conhecer não apenas a magnitude da velocidade do ar, mas também sua direção e seu sentido. Nos trabalhos de campo foram levantados os dados de direção do vento. Contudo, a consideração da soma vetorial implica em saber também a direção e sentido em que as pessoas se locomovem. Mesmo em casos específicos, a determinação do fluxo nem sempre é precisa. Em locais de passagem, comumente tem-se o fluxo em uma direção, mas nos dois sentidos possíveis. Desta forma, para se avaliar um caso específico, por vezes tem-se mais de uma resposta, em função da direção e sentido do deslocamento do indivíduo, ou se chega a um valor representativo médio. Como o

objetivo aqui é a determinação de uma equação geral, prefere-se chegar a um valor representativo médio. A problemática aqui levantada apontou para a solução a ser utilizada. Considera-se, então, a soma vetorial da velocidade relativa entre o ar e o indivíduo, mas admitindo-se que o vento incide sempre lateralmente ao deslocamento do indivíduo. Ou seja, os vetores estão sempre perpendiculares. Deste modo, tem-se por simplificação a relação seguinte.

$$v_r = (v_{ar}^2 + v_i^2)^{1/2} \quad (\text{eq.9})$$

Assim sendo, não é necessário conhecer a direção e sentido do deslocamento do ar, tampouco do indivíduo. Imaginando-se uma situação típica em local de passagem, em que as pessoas se deslocam em uma mesma direção e sentidos opostos, tem-se que a soma vetorial a noventa graus acaba por causar possível subestimação da velocidade relativa para um sentido, mas com conseqüente superestimação no outro sentido. Acredita-se, desta forma, que se chega a um valor médio representativo. De modo análogo, em um local de permanência, em que os fluxos de pessoas não são bem delimitados, caso se admita que as pessoas estejam caminhando em direções e sentidos aleatórios, a incidência lateral do vento gera, mais uma vez, uma situação média representativa da realidade em questão. Portanto, é aqui adotada a soma vetorial a noventa graus para a consideração da velocidade relativa entre ar e indivíduo.

Para a verificação da alteração das taxas metabólicas, utilizou-se a temperatura equivalente percebida (Monteiro, 2008), realizando-se simulações por meio da modelagem anteriormente descrita, adaptando-se o proposto por Blazejczyk (1996), Vogt *et al.* (1981) e Dominguez *et al.* (1992). Foi considerada toda a faixa de aplicação do índice TEP compreendida entre os seus valores-limite de temperatura do ar ($t_{ar}=15\sim33^\circ\text{C}$), temperatura radiante média ($t_{rm}=15\sim66^\circ\text{C}$), umidade relativa ($UR=30\sim95\%$), velocidade do ar ($v_{ar}=0,1\sim3,6\text{m/s}$) e isolamento térmico da roupa ($I_{cl}=0,3\text{-}1,2\text{clo}$). Foram feitas simulações com incrementos de $t_{ar}=3^\circ\text{C}$; $t_{rm}=6^\circ\text{C}$; $UR=15\%$; $v_{ar}=0,5\text{m/s}$ e $I_{cl}=0,25\text{clo}$. Os seguintes ajustes foram feitos: para t_{rm} considerou-se até o valor de 69°C ; para UR iniciou-se em 35% ; e para I_{cl} iniciou-se em $0,25\text{ clo}$ e finalizou-se em $1,25\text{ clo}$; garantindo-se assim a integridade dos intervalos. Garante-se ainda a coincidência com os valores da t_{ar} , no caso da t_{rm} , e com os valores comumente empregados, no caso da UR e do I_{cl} . Realizando-se todas as possibilidades combinatórias dessas variáveis (7 valores de t_{ar} , 10 de t_{rm} , 5 de UR , 8 de v_{ar} e 5 de I_{cl}), totalizaram-se 14.000 simulações para cada taxa metabólica, possibilitando a determinação de valores de temperatura equivalente percebida que proporcionam a mesma sensação térmica em diferentes atividades.

4 RESULTADOS

4.1 Vestimentas

Ressaltam-se, na tabela 9, os valores máximos e mínimos observados na média dos valores das setenta e duas situações consideradas e dos 1750 levantamentos individuais realizados.

Tabela 9: Valores-limite das variáveis isolamento da roupa e temperatura do ar, considerando-se os dados observados e os valores médios adotados.

| variável | valor mínimo observado | valor máximo observado |
|-------------------|------------------------|------------------------|
| I_{cl} absoluto | 0,26 | 1,17 |
| I_{cl} médio | 0,39 | 0,86 |
| t_{ar} | 15,1 | 33,1 |

Esses valores são aqui apresentados para reafirmar os limites dentro dos quais as considerações anteriores são válidas. Para além desses valores, os resultados encontrados são extrapolações passíveis de verificação. Assim, conforme determinado ao longo da explanação metodológica, o modelo proposto para previsão do isolamento térmico da roupa em função das variáveis microclimáticas ambientais se dá, em verdade, apenas em função da temperatura do ar, conforme se segue.

$$I_{cl} = 1,203 - 0,0263 \cdot t_{ar} \quad (\text{eq.10})$$

Para aplicações práticas do modelo proposto, sugere-se o estabelecimento de valores de referência

para se limitar o valor mínimo de isolamento da roupa, uma vez que por questões físicas esse isolamento nunca será menor que zero e por questões culturais verificam-se valores mínimos de isolamento ainda maiores. A tabela 10 apresenta esquematicamente esses limites.

Tabela 10: Valores-limite da variável isolamento da roupa, segundo critérios físicos e culturais.

| limite | t_{ar} | I_{cl} |
|--|----------------------------------|----------|
| físico teórico | $> 45,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ | 0,00 |
| para trajes de banho | $> 44,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ | 0,05 |
| para vestimentas usadas em espaços urbanos | $> 30,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ | 0,40 |
| para vestimentas usadas em escritório | $> 26,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ | 0,50 |

Assim, caso não houvesse restrições culturais, poderia ser adotado o limite, ainda que teórico, de $45,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, no qual se teria $I_{cl} = 0,00$ clo. Considerando-se trajes de banho, para $t_{ar} > 44,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, tem-se $I_{cl} = 0,05$ clo. Contudo, grosso modo, pode-se colocar que, em situações gerais nos espaços abertos, para $t_{ar} > 30,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, tem-se $I_{cl} = 0,40$ clo. Caso se considere a limitação de vestimentas comumente utilizadas em atividades de escritório (calça social, camisa de manga curta, sapatos, meias e roupa íntima), verifica-se que para $t_{ar} > 26,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, tem-se $I_{cl} = 0,50$ clo.

4.2 Atividades

A descrição metodológica das simulações realizadas indicou a utilização da temperatura equivalente percebida (TEP) como critério de comparação da variação da taxa metabólica. Os valores do índice de carga térmica (HL) foram utilizados para a determinação da TEP', que é o novo valor da temperatura equivalente percebida encontrada para as diversas taxas metabólicas testadas. A variação apresentada ("correção") é a diferença entre os valores de TEP' e TEP. A tabela 11 apresenta essa correção a ser aplicada na equação de TEP originalmente proposta para $M=1,3\text{ met}$. Constam, ainda, os limites em que as correções foram obtidas e o erro estimado para cada valor.

Tabela 11: Resumo dos resultados das simulações para determinação da TEP em função de diferentes taxas metabólicas

| Atividade | sentado | em pé | andando | | | | |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| velocidade da pessoa (m/s) | - | - | 0,9 | 1,1 | 1,3 | 1,5 | 1,7 |
| velocidade da pessoa (km/h) | - | - | 3,2 | 4 | 4,7 | 5,4 | 6,1 |
| taxa metabólica (Met) | 1 | 1,3 | 2,0 | 2,4 | 2,6 | 3,0 | 3,5 |
| TEP consideradas ($^{\circ}\text{C}$) | 12~45 | 12~45 | 12~39 | 12~39 | 15~36 | 15~36 | 15~36 |
| correção ($^{\circ}\text{C}$) | -1,5 | 0,0 | 3,5 | 5,7 | 7,7 | 13,5 | 20,4 |
| erro estimado ($^{\circ}\text{C}$) | $\pm 0,0$ | $\pm 0,0$ | $\pm 0,1$ | $\pm 0,5$ | $\pm 0,8$ | $\pm 2,0$ | $\pm 3,3$ |

Conforme pode ser observado, para taxas metabólicas de 1,0 e 2,0 Met, os resultados são bastante precisos. Para 2,4 Met, o erro estimado é da ordem de $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Nos casos de taxas metabólicas mais elevadas, verifica-se que os erros estimados são crescentes, mesmo em faixas de aplicabilidade mais restritas. Segundo vários autores, como Jendritzky (1979, *apud* Jendritzky & Nübler, 1981) e Blazejczyk (2003), a velocidade média do caminhar pela rua é de $1,1\text{ m/s}$. Desta forma, as atividades metabólicas de maior interesse para avaliação de espaços abertos podem ser resumidas a três: 1,0 Met (pessoa sentada), 1,3 Met (pessoa em pé com pouca atividade) e 2,4 Met (pessoa caminhando a uma velocidade média de $1,1\text{ m/s}$). Assim, as correções a serem aplicadas são de $-1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ para pessoas sentadas e $5,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ para pessoas caminhando. Considerando-se que para a atividade metabólica de 2,4 Met o erro estimado de $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ seja aceitável, propõe-se a seguir uma linearização dos valores encontrados para atividade entre 0,0 e 2,4 Met, fornecendo-se assim uma equação para aplicação nas atividades comumente encontradas em espaços abertos.

$$\Delta TEP = -6,648 + 5,118 \cdot M \quad (\text{eq.11})$$

onde: ΔTEP = variação na temperatura equivalente percebida, em $^{\circ}\text{C}$

A equação anterior, para a faixa de valores proposta, apresenta correlação de 1, portanto com r^2 também igual 1, e r^2 ajustado de 0,999. O erro padrão é $0,080$ e a significância de $p < 0,001$. Em termos práticos, a linearização proposta mantém a correção dos valores compreendidos entre 1,0 e 2,0 Met. Para o valor de 2,4 Met, a equação prediz um valor de $5,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, quando o correto seria $5,7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Como

o erro estimado para os resultados dessa taxa metabólica já era de 0,5°C, no pior dos casos, ainda que improvável, o erro acumulado seria de 0,6°C. É importante mencionar que para valores superiores a 2,4 Met, observa-se que o crescimento da variação na temperatura equivalente não é mais linear. Assim, se a mesma for empregada para esses casos, haverá uma subestimação da variação. Portanto, para M=2,6 Met, a predição seria de 6,5°C, enquanto o valor encontrado foi de 7,5°C; para M=3,0 Met e 3,5 Met, têm-se respectivamente 8,5°C e 11,5°C contra 13,5 °C e 20,5°C originalmente encontrados. Deste modo, a utilização da equação deve ser restrita às taxas metabólicas especificadas. Seria possível a determinação de um modelo não linear que abarcasse a totalidade das taxas consideradas. Contudo, conforme visto na tabela 11, esses casos recém mencionados apresentam erros estimados consideráveis e ainda crescentes (respectivamente 0,8; 2,0 e 3,3). Portanto, como a equação linear abarca as atividades comumente praticadas em espaços abertos, optou-se por mantê-la. Ressalta-se que as correções apresentadas na tabela 11 são passíveis de utilização, desde que reconhecidas as faixas a que se aplicam e os respectivos erros estimados. Por outro lado, acredita-se que a equação recém proposta seja justificável pela possibilidade de poder ser adicionada à equação de TEP originalmente proposta.

5 APLICAÇÃO DOS RESULTADOS

Monteiro (2008) propõe a temperatura equivalente percebida (TEP), conforme se segue.

$$TEP = -3,777 + 0,4828 \cdot t_{ar} + 0,5172 \cdot t_{rm} + 0,0802 \cdot UR - 2,322 \cdot v_{ar} \quad (\text{eq.12})$$

A temperatura equivalente percebida de um dado ambiente pode ser sucintamente definida como uma escala de sensação térmica que apresenta valores numericamente iguais aos da temperatura do ar de um ambiente de referência ($t_{ar}=t_{rm}$, UR=50% e $v_{ar}=0$) em que se verifica o mesmo valor médio de percepção de sensação térmica que no ambiente em questão. A tabela 12 apresenta os limites das variáveis ambientais envolvidas na temperatura equivalente percebida e a tabela 13 apresenta as faixas para interpretação do índice de temperatura equivalente percebida em função dos valores médios de sensação térmica.

Tabela 12: Valores-limite das variáveis envolvidas na TEP, considerando-se os dados observados

| variável | valor mínimo | valor máximo |
|----------|--------------|--------------|
| t_{ar} | 15,1 | 33,1 |
| UR | 30,9 | 94,7 |
| v_{ar} | 0,1 | 3,6 |
| t_{rm} | 15,5 | 65,5 |
| TEP | 13,7 | 45,3 |

Tabela 13: Faixas interpretativas para a temperatura equivalente percebida (TEP)

| TEP | Sensação |
|-------------|--------------|
| > 42,4 | muito calor |
| 34,9 ~ 42,4 | calor |
| 27,3 ~ 34,8 | pouco calor |
| 19,6 ~ 27,2 | neutralidade |
| 12,0 ~ 19,5 | pouco frio |
| 4,4 ~ 11,9 | frio |
| < 4,4 | muito frio |

Pode-se então adotar o valor de isolamento da roupa de temperatura equivalente percebida de neutralidade (TEP_n) como de referência para se propor uma equação para aplicação em possíveis situações em que haja um isolamento de roupa pré-definido para o uso em espaços abertos.

$$\Delta TEP = -22,814 + 38,023 I_{cl} \quad (\text{eq.13})$$

A equação foi gerada, para maior facilidade de aplicação prática, admitindo-se isolamento de roupa de 0,6 clo (de acordo com os dados empíricos, $I_{cl} = 0,59$ clo para $TEP_n = 23,4^\circ\text{C}$), uma vez que a aproximação não causa perda de precisão, dado que a utilização da temperatura equivalente percebida

de neutralidade é arbitrária (em verdade, a utilização do isolamento de roupa de 0,6 clo equivale a uma temperatura equivalente percebida de 23°C). Considerando-se a correlação estabelecida anteriormente, tem-se para a taxa metabólica a seguinte equação.

$$\Delta TEP = -6,648 + 5,118 \cdot M \quad (\text{eq.14})$$

Considerando conjuntamente as variáveis isolamento da roupa e atividade metabólica, tem-se a equação seguinte.

$$TEP = -33,239 + 0,4828 \cdot t_{ar} + 0,5172 \cdot t_{rm} + 0,0802 \cdot UR - 2,322 \cdot v_{ar} + 5,118 M + 38,023 I_{cl} \quad (\text{eq.15})$$

Ressalta-se que para a eliminação das variáveis isolamento térmico da roupa ou atividade metabólica da equação, deve-se utilizar respectivamente os valores de referência 1,3 Met e 0,6 clo, conforme explicitado ao longo do artigo.

6 CONCLUSÕES

Este artigo apresentou possibilidades de adaptação, em função do conforto térmico urbano, em específico em situações ambientais externas, considerando o uso de vestimentas (diferentes isolamentos térmicos de roupas comumente utilizadas em espaços urbanos abertos) e a prática de atividades (diferentes taxas metabólicas por meio de atividades físicas comumente praticadas em espaços urbanos abertos). Foram estabelecidas correlações dessas variáveis com o modelo de temperatura equivalente percebida, possibilitando que elas sejam estimadas em situações urbanas particulares, em que se tenha a execução de alguma atividade física específica ou em que não se tenha a possibilidade das pessoas utilizarem as vestimentas que melhor lhes aprouverem. Assim, passa-se a apresentar um modelo ampliado, considerando-se não apenas as quatro variáveis microclimáticas, mas também essas duas variáveis individuais, que são passíveis de exclusão por meio de valores de referência, quando a situação urbana for típica.

Estabeleceu-se ainda um modelo preditivo específico para o isolamento térmico da roupa típico para situações de espaços abertos urbanos, com base na complexa realidade sócio-cultural da cidade de São Paulo, baseando-se simplesmente na temperatura do ar externo. Ressalta-se que o modelo foi estabelecido com base apenas em tal variável, pois foi a maior correlação obtida, não tendo sido encontrados resultados mais significativos, mesmo com a consideração de outras variáveis. Correlacionou-se a variação da taxa metabólica com a respectiva variação na sensação térmica em espaços abertos urbanos, considerando ainda as limitações impostas pelas atividades comumente realizadas nesses espaços específicos, identificando essas atividades e apontando a oportunidade e potencial adaptativo de cada uma delas. Ressalta-se, porém, que, assim como no caso das variáveis microclimáticas ambientais, os resultados foram obtidos em situações específicas conforme descritas ao longo do artigo e, pesquisas são necessárias para a verificação dos resultados encontrados e exploração de possíveis extrapolações para outras condições de aclimação ou de aculturação, em situações distintas a da cidade de São Paulo.

Em suma, com base nos resultados alcançados, a partir da base empírica específica, considerando dias típicos de verão e inverno, em espaços urbanos abertos da cidade de São Paulo, pode-se afirmar que há possibilidade de adaptação frente às condições microclimáticas por meio da utilização de diferentes vestimentas (alterando-se o isolamento térmico da roupa) e por meio da prática de diferentes atividades (alterando-se a taxa metabólica). Reconhece-se que, em diversas situações conforme em alguns casos indicado ao longo do texto, há restrição para o uso de vestimentas ou para a prática de atividades e, assim, a oportunidade adaptativa acaba se tornando maior ou menor em função dos hábitos sócio-culturais de dada população e dos usos específicos de cada espaço aberto urbano.

7 REFERÊNCIAS

BLAZEJCZYK, Krzysztof. MENEX 2002. In: THE DEVELOPMENT OF HEAT STRESS WATCH WARNING SYSTEMS FOR EUROPEAN CITIES. Freiburg May 3, 2003. **Proceedings of Conference...**, Friburgo, 2003. Disponível em <http://www.gees.bham.ac.uk/research/phewe/freiburg/>.

- _____. **MENEX 2002**. <http://www.igipz.pan.pl/klimat/blaz/menex>. 2002a. Acesso em 24/04/2004.
- _____. **Man-environment heat exchange model**. <http://www.igipz.pan.pl/klimat/blaz/menex.ppt>. 2002b. Acesso realizado em 24/04/2004.
- _____. Assessment of recreational potential of bioclimate based on the human heat balance. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON CLIMATE, TOURISM AND RECREATION, 1, 2001, Halkidiki, Greece. **Proceedings...** Halkidiki, Int. Society of Biomet., p. 133-152, 2001.
- _____. Climatological-and-physiological model of the human heat balance outdoor and its applications in bioclimatological studies in different scales. **Zeszyty IGiPZ PAN**, v.28, p.27-58, 1996.
- BLAZEJCZYK, Krzysztof; BARANOWSKI, J.; PISARCZYK, S.; SMIETANKA, M. Influence of the human heat balance on respiratory and circulatory diseases. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF BIOMETEOROLOGY & INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATOLOGY, 15, 1999, Sydney. **Selected Papers from the Conference...** Geneva: World Meteorological Organization, p. 107-112, 2000.
- DOMINGUEZ *et al.* **Control climático en espacios abiertos: el proyecto Expo'92**. Sevilla: Universidad de Sevilla, 1992.
- ISO (INTERNATIONAL ORGANIZATION STANDARDIZATION). **ISO 7726**. Ergonomics of the thermal environment: instruments for measuring physical quantities. Genève: ISO, 1998.
- _____. **ISO 7933**. Hot environments: analytical determination and interpretation of thermal stress using calculation of required sweat rate. Genève: ISO, 1989.
- _____. **ISO 8996**. Ergonomics of the thermal environment: determination of metabolic rate. Genève: ISO, 2004.
- _____. **ISO 9920**. Ergonomics of the thermal environment: estimation of thermal insulation and water vapour resistance of a clothing ensemble. Genève: ISO, 2007.
- JENDRITZKY, Gerd. **Klima-Michel-model**. In: THE DEVELOPMENT OF HEAT STRESS WATCH WARNING SYSTEMS FOR EUROPEAN CITIES. Freiburg May 3, 2003. **Presentations of Conference The Development of Heat Stress Watch Warning Systems for European Cities**, Freiburg, 2003. Disponível em www.gees.bham.ac.uk/research/phewe/freiburg/ Visita realizada em 15/11/2005.
- _____. Selected questions of topical interest in human bioclimatology. **International Journal of Biometeorology**, 35 (3), p. 139-150, 1991.
- JENDRITZKY, Gerd; NÜBLER, W. A model analyzing the urban thermal environment in physiologically terms. **Arch. Meteor. Geophys. Bioclimatol.** Serial B 29, p. 313-326, 1981.
- JENDRITZKY, Gerd *et al.* **Klimatologische Probleme** – ein einfaches Verfahren zur Vorhersage der Wärmebelastung, in Zeitschrift für angewandte Bäder und Klimaheilkunde. Freiburg, 1979.
- MONTEIRO, L. M. **Modelos preditivos de conforto térmico**: quantificação de relações entre variáveis microclimáticas e de sensação térmica para avaliação e projeto de espaços abertos. 378p. Tese (Doutorado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Univ. de São Paulo, São Paulo, 2008.
- MONTEIRO, L. M.; ALUCCI, M. P. Conforto térmico em espaços abertos com diferentes abrangências microclimáticas. Parte 1: verificação experimental de modelos preditivos. In: IX ENCAC e V ELACAC, 2007, Ouro Preto. **Anais...** Antac, 2007a.
- _____. Conforto térmico em espaços abertos com diferentes abrangências microclimáticas. Parte 2: proposição de calibração de modelos preditivos. In: IX ENCAC e V ELACAC, 2007, Ouro Preto. **Anais...** Antac, 2007b.
- _____. Índices de conforto térmico em espaços abertos. Parte 1: revisão histórica. In: VIII ENCAC e IV ELACAC, 2005, Maceió. **Anais...** Antac, 2005a.
- _____. Índices de conforto térmico em espaços abertos. Parte 2: estado da arte. In: VIII ENCAC e IV ELACAC, 2005, Maceió. **Anais...** Antac, 2005b.
- VOGT *et al.* A thermal environment in physiologically significant terms. **Arch. Meteor. Geophys. Bioclimatol.** v.29, p. 313-326, 1981.

8 AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelos auxílios à pesquisa.