



ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO EM ESPAÇOS ABERTOS PARTE 2: ESTADO DA ARTE

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

Departamento de Tecnologia, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo
São Paulo, Brasil, tel: 55 11 3091-4538 r.214, fax: 55 11 3091-4539,
e-mail: (1) leo.mm@uol.com.br (2) marcialu@usp.br

RESUMO

Este artigo apresenta o estado da arte das pesquisas em conforto térmico em espaços externos, especificamente os modelos numéricos e os parâmetros propostos por diversos autores através de metodologia de balanço térmico e pesquisas empíricas. São consideradas as pesquisas mais recentes e significativas publicadas nos últimos dez anos: o modelo MENEX e os cinco índices de Blazejczyk (1996), o modelo MEMI e o índice PET de Höppe (1999), o OUT-SET* de Pickup & Dear (1999), o TS de Givoni & Noguchi (2000), o NWCI de Bluestein & Osczevski (2002), o KMM e o PT* de Jendritzky (2003). Apresentam-se ainda os trabalhos em desenvolvimento da Comissão 6 da Sociedade Internacional de Biometeorologia, em busca de um índice termo-climático universal (ISB, 2004). O artigo “Índices de Conforto Térmico em Espaços Abertos. Parte 1: Revisão Histórica” apresenta os trabalhos de Houghten (1923), Vernon & Warner (1932), McAriel (1947), Missenard (1948), Siple & Passel (1945), Belding & Hatch (1955), Yaglou (1957), Webb (1960), Gagge (1967), Givoni (1969), Masterton & Richardson (1979), Jendritzky (1979), Domínguez (1992), Brown & Gillespie (1995) e Aroztegui (1995). A contribuição destes artigos em conjunto é fornecer uma revisão histórica sucinta e o atual estado da arte nas pesquisas de conforto térmico em espaços abertos, apresentando equações e parâmetros propostos e, ainda, uma breve discussão e possíveis novas abordagens.

ABSTRACT

This paper presents the state-of-the-art of the researches in outdoor thermal comfort, specifically the numerical models and parameters proposed by several authors through thermal balance methodology and empirical researches. The latest researches published in the last ten years are discussed: the MENEX model and the five indexes of Blazejczyk (1996), the MEMI model and PET of Höppe (1999), the OUT-SET* of Pickup & Dear (1999), the TS of Givoni & Noguchi (2000), the NWCI of Bluestein & Osczevski (2002), the KMM and PT* of Jendritzky (2003) and the developing researches of the Commission 6 of International Society of Biometeorology, aiming a universal thermal climate index (ISB, 2004). The paper “Outdoor Thermal Comfort Indexes. Part 1: Historical Review” presents the works of Houghten (1923), Vernon & Warner (1932), McAriel (1947), Missenard (1948), Siple & Passel (1945), Belding & Hatch (1955), Yaglou (1957), Webb (1960), Gagge (1967), Givoni (1969), Masterton & Richardson (1979), Jendritzky (1979), Domínguez (1992), Brown & Gillespie (1995) and Aroztegui (1995). As a whole, these two papers present a summarized historical review and the current state-of-the-art in outdoor thermal comfort researches, presenting the equations and parameters proposed and a brief discussion and possible new approaches.

1. INTRODUÇÃO

Este artigo traz o estado da arte em pesquisas de conforto térmico em espaços abertos. Serão aqui apresentados, cronologicamente, seis relevantes trabalhos divulgados durante os últimos dez anos. Primeiramente, serão considerados três trabalhos baseados em metodologia de balanço térmico: o modelo MENEX e os cinco índices de BLAZEJCZYK (1996), o modelo MEMI e o índice PET de HÖPPE (1999), o modelo OUT-MRT e o índice OUT-SET* de PICKUP & DEAR (1999). A seguir, são apresentados dois trabalhos empíricos: o TS de GIVONI & NOGUCHI (2000) e o NWCI de BLUESTEIN & OSCZEWSKI (2002). Então, são considerados o modelo KMM e o índice PT* de JENDRITZKY (2003). Por fim, apresenta-se ainda os trabalhos em desenvolvimento da Comissão 6 da Sociedade Internacional de Biometeorologia, chefiada por Jendritzky, para um índice termo-climático universal (ISB, 2004).

2. MODELO MENEX (MAN-ENVIRONMENT HEAT EXCHANGE MODEL)

BLAZEJCZYK (1996; citado por BLAZEJCZYK, 2002) propõe o modelo MENEX (Man-Environment heat EXchange model). O modelo utiliza o balanço térmico do corpo humano, considerando a produção de calor metabólico através da ISO 8996 (1990) e as trocas com o meio. As peculiaridades do modelo são: o cálculo das perdas evaporativas pela pele considerando-se um coeficiente de ponderação por sexo (1,0 para homens e 0,8 para mulheres), o cálculo das perdas por radiação de onda longa pela pele considerando-se uma ponderação devida à nebulosidade, e ainda o cálculo de radiação solar através de modelos específicos. Para o cálculo de radiação solar foram realizadas pesquisas empíricas e estabeleceram-se três modelos, em função da disponibilidade de dados de radiação solar. Assim, o primeiro modelo (SolDir) considera a radiação solar direta, difusa e refletida; o segundo (SolGlob) considera a radiação solar global; e o terceiro (SolAlt) é utilizado quando não se têm dados de radiação solar. Os três modelos consideram a altitude solar, a resistência térmica da roupa e o albedo ponderado da pele e roupa, apresentando equações diferenciadas em função da altitude solar. O segundo e o terceiro modelos apresentam diferentes equações ainda em função da nebulosidade. As doze equações destes modelos podem ser encontradas em Blazejczyk (2001, p. 138-40). Para avaliação dos resultados, o autor propõe três critérios, os quais devem ser considerados em conjunto: carga térmica, estímulo devido à intensidade de radiação solar e esforço fisiológico do organismo. O autor propõe ainda um índice de temperatura subjetiva e um índice de suor aparente. Todos estes são apresentados a seguir.

2.1 Carga térmica: Heat Load (HL)

A carga térmica é avaliada em função do calor acumulado (S), da radiação solar absorvida (R_c) e das perdas evaporativas pela pele (E_{sk}). Assim:

$$HL = [(S + 360) / 360]^{[2 - 1/(1+R_c)]} \text{ para } S \leq 0 \text{ W/m}^2 \text{ e } E_{sk} \geq -50 \text{ W/m}^2 \quad [\text{Eq.01}]$$

$$HL = [(S + 360) / 360]^{[2 + 1/(1+R_c)]} \text{ para } S > 0 \text{ W/m}^2 \text{ e } E_{sk} \geq -50 \text{ W/m}^2 \quad [\text{Eq.02}]$$

$$HL = (E/-50) \cdot [(S + 360) / 360]^{[2 - 1/(1+R_c)]} \text{ para } S \leq 0 \text{ W/m}^2 \text{ e } E_{sk} < -50 \text{ W/m}^2 \quad [\text{Eq.03}]$$

$$HL = (E/-50) \cdot [(S + 360) / 360]^{[2 + 1/(1+R_c)]} \text{ para } S > 0 \text{ W/m}^2 \text{ e } E_{sk} < -50 \text{ W/m}^2 \quad [\text{Eq.04}]$$

onde: HL = índice de carga térmica no organismo, adimensional. Este índice classifica o estresse do indivíduo segundo os intervalos presentes na Tabela 1.

Tabela 1: Carga térmica: Heat Load (HL), Blazejczyk (2001, p.140).

HL	Classificação
$\leq 0,810$	Estresse elevado por frio
0,811 - 0,930	Estresse moderado por frio
0,931 - 1,185	Neutralidade térmica
1,186 - 1,600	Estresse moderado por calor
$\geq 1,600$	Estresse elevado por calor

2.2 Estímulo devido à intensidade de radiação solar: Intensity of Radiation Stimuli (R')

O estímulo devido à intensidade de radiação solar é calculado em função da radiação solar absorvida pelo corpo nu. Assim, para o estabelecimento deste índice, deve-se calcular a radiação solar absorvida pelo corpo desconsiderando-se o fator de roupa (f_{cl}) e a transmissividade da roupa (τ_{cl}).

$$R' = \alpha_{sk} \cdot I_{sol} \quad [Eq.05]$$

onde: R' = índice de estímulo devido à intensidade de radiação solar, em W/m^2 ; α_{sk} = taxa de absorção de onda curta pela pele, adimensional; I_{sol} = radiação solar total incidente, em W/m^2

Os intervalos propostos por este índice estão na Tabela 2.

Tabela 2: Estímulo devido à intensidade de radiação solar: intensity of radiation stimuli (R'), BLAZEJCZYK (2000, p.141).

R'	Classificação
< 60 W/m^2	Estímulo fraco
60 - 120 W/m^2	Estímulo moderado
> 120 W/m^2	Estímulo forte

2.3 Esforço fisiológico: Physiological Strain (PhS)

O esforço fisiológico do organismo é definido através dos principais meios de troca de calor. No caso de esforço por frio, ocorre a perda de calor convectiva pela pele (C) e, no caso de esforço por calor, tem-se a perda de calor evaporativa pela pele (E_{sk}). Assim, este índice é dado em função da relação entre o calor trocado por convecção (C) e o calor perdido por evaporação (E):

$$PhS = C/E_{sk} \quad [Eq.06]$$

onde: PhS = índice de esforço fisiológico do organismo, adimensional. A classificação adotada por esse índice é apresentada na Tabela 3.

Tabela 3: Esforço fisiológico: Physiological Strain (PhS), BLAZEJCZYK (2002, p.7).

PhS	Classificação
< 0,25	Esforço elevado por calor
0,25 - 0,49	Esforço moderado por calor
0,50 - 0,99	Esforço leve por calor
1,00 - 1,99	Esforço leve por frio
2,00 - 4,00	Esforço moderado por frio
>4,00	Esforço elevado por frio

2.4 Índice de temperatura subjetiva: Subjective Temperature Index (STI)

O índice de temperatura subjetiva representa a sensação subjetiva do ambiente térmico pelo indivíduo. É calculado através das seguintes equações:

$$STI = T_{rm} - [ISI^{0,75} / (5,39 \cdot 10^{-8}) + 273^4]^{0,25} - 273 \quad \text{para } S < 0 \text{ W/m}^2 \quad [Eq.07]$$

$$STI = T_{rm} + [ISI^{0,75} / (5,39 \cdot 10^{-8}) + 273^4]^{0,25} - 273 \quad \text{para } S \geq 0 \text{ W/m}^2 \quad [Eq.08]$$

onde: STI = índice de temperatura subjetiva, em $^{\circ}C$. Este índice propõe os intervalos apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Índice de temperatura subjetiva: Subjective Temperature Index (STI), BLAZEJCZYK (2002, p.6).

STI	Classificação
$\leq 38,0$	Muito frio
-38,0 a -0,5	Frio
- 0,4 a 22,5	Pouco frio
22,6 a 31,9	Confortável
32,0 a 45,9	Pouco quente
46,0 a 54,9	Quente
$\geq 55,0$	Muito quente

2.5 Índice de suor aparente: Sensible Perspiration (SP)

O índice de suor aparente fornece uma avaliação subjetiva baseada em termos da percepção do suor secretado que não é efetivamente evaporado. O estabelecimento do índice baseia-se na seguinte relação:

$$SP = -0,3 \cdot 5 \cdot (E_{rsw}/E_{max}) \quad [Eq.09]$$

onde: SP = índice de suor aparente, adimensional. A classificação fornecida pelo índice SP é apresentada na Tabela 5.

Tabela 5: Índice de suor aparente: Sensible Perspiration (SP), BLAZEJCZYK (2002, p.12).

SP	Classificação
0	Testa e corpo secos
1	Pele úmida sem umidade visível
2	Pele úmida com umidade visível
3	Testa e corpo molhados
4	Roupa parcialmente molhada
5	Roupa quase totalmente molhada
6	Roupa totalmente molhada

3. MODELO DE MUNIQUE: MUNICH ENERGY-BALANCE MODEL FOR INDIVIDUALS (MEMI)

HÖPPE(1999) propõe o Modelo de Munich. Este modelo baseia-se na equação de balanço térmico do corpo humano e em alguns parâmetros do modelo de dois nós de GAGGE (1986). As diferenças do modelo de Höppe, com relação ao de Gagge, são os modos de calcular a taxa de suor regulatório (em função de t_{sk} e t_{cl}) e dos fluxos de calor, considerando em separado as partes do corpo cobertas e descobertas por roupa. Assim, a primeira equação a ser apresentada representa o balanço energético; a segunda, o fluxo de calor do centro do corpo para a superfície da pele; e a terceira, o fluxo de calor da superfície da pele para a superfície externa da roupa:

$$M - W + R + C + Q_{res} - E_{dif} - E_{rsw} = 0 \quad [Eq.10]$$

$$F_{c-sk} = v_b \cdot \rho_b \cdot c_b \cdot (t_c - t_{sk}) \quad [Eq.11]$$

$$F_{sk-cl} = (t_{sk} - t_{cl}) / I_{cl} \quad [Eq.12]$$

onde: F_{c-sk} = fluxo de calor do centro do corpo para a superfície da pele, em W/m^2 ; v_b = fluxo de sangue do centro do corpo para a pele (dependente de t_c e t_{sk}), em $l/s \cdot m^2$; ρ_b = densidade do sangue, em kg/l ; c_b = calor específico do sangue, em $W \cdot s / K \cdot kg$; F_{sk-cl} = fluxo de calor da superfície da pele para a superfície externa da roupa, em W/m^2

Resolvendo este sistema de três equações encontram-se os valores da temperatura da superfície externa da roupa (t_{cl}), da temperatura da superfície da pele (t_{sk}) e da temperatura do centro do corpo (t_c).

3.1 Temperatura equivalente fisiológica: Physiological Equivalent Temperature (PET)

HÖPPE (1999) define a temperatura equivalente fisiológica de uma dada situação como a temperatura equivalente à temperatura do ar na qual, em uma situação típica interna, o balanço térmico do corpo humano é mantido, com temperaturas do centro do corpo e da pele iguais às da situação em questão.

Para o clima de referência interno, são feitas as seguintes suposições: temperatura radiante média igual à temperatura do ar: $t_{rm} = t_{ar}$; velocidade do ar: $v = 0,1$ m/s; pressão parcial de vapor de água do ar: $p_v = 12$ hPa (aproximadamente equivalente a umidade relativa de 50% a $t_{ar}=20$ °C). Para os parâmetros do indivíduo no ambiente interno de referência, considera-se: metabolismo de atividade leve (80 W) mais metabolismo basal (34 W): $M = 114$ W; resistência térmica da roupa: $I_{clo} = 0,9$ clo.

Para calcular a temperatura fisiológica equivalente (PET), devem-se proceder segundo as seguintes etapas: (1) cálculo das condições térmicas do corpo, temperatura da pele (t_{sk}) e temperatura do centro do corpo (t_c), através dos sistemas de equações do modelo MEMI, para uma dada combinação de parâmetros meteorológicos e individuais; (2) inserção dos valores encontrados de temperatura da pele (t_{sk}) e temperatura do centro do corpo (t_c) no modelo MEMI, resolvendo o sistema de equações para achar a temperatura do ar (t_{ar}), considerando $t_{rm} = t_{ar}$; $v = 0,1$ m/s; $p_v = 12$ hPa; $M = 114$ W; $I_{clo} = 0,9$ clo; (3) a temperatura do ar encontrada é a temperatura fisiológica equivalente (PET).

4. TEMPERATURA EFETIVA PADRÃO EXTERNA: OUTDOOR STANDARD EFFECTIVE TEMPERATURE (OUT-SET*)

PICKUP & DEAR (1999a) propõem a temperatura efetiva padrão externa (OUT-SET*) a partir do modelo de temperatura efetiva padrão (SET*) de GAGGE (1967), adaptando-o através da consideração detalhada das trocas radiativas com o meio externo através de um modelo específico (OUT-MRT), que fornece um valor equivalente de temperatura radiante média a ser utilizado como dado de entrada no modelo de dois nós de Gagge, adaptado por PICKUP & DEAR (1999b). POTTER & DEAR (1999) apresentam o estudo de campo realizado para calibração do modelo.

As equações do OUT-MRT, assim como uma comparação positiva dos resultados com os do modelo de BLAZEJCZYK (1996), podem ser encontradas em PICKUP & DEAR (1999a, p.280-1). Possíveis aplicações do OUT-SET* encontram-se em PICKUP & DEAR (1999b).

5. ÍNDICE DE SENSAÇÃO TÉRMICA: THERMAL SENSATION (TS)

GIVONI & NOGUCHI (2000) relatam pesquisa experimental de conforto térmico em espaços abertos, envolvendo levantamento de dados subjetivos e dados micro-climáticos de temperatura, umidade e velocidade do ar, temperatura superficial do entorno e radiação solar. Foram estudadas as relações entre sensação térmica e sensação global de conforto, através de pesquisa desenvolvida pela Fujita Corporation em um parque da cidade de Yokohama, no Japão.

O objetivo da pesquisa era determinar o efeito quantitativo dos vários aspectos de projeto que interferem na incidência do sol e ventos. O levantamento foi realizado por alguns dias durante as quatro estações, do verão de 1994 ao verão de 1995, considerando pessoas com roupas habitualmente usadas nas diferentes estações. A pesquisa foi realizada através da aplicação de um questionário de respostas subjetivas a três pares de indivíduos (um homem e uma mulher em cada par), submetidos a diferentes condições experimentais: área sombreada, área ao sol e área aberta protegida do vento com uma placa transparente, sendo que as três áreas encontravam-se próximas entre si. Os grupos se alteravam a cada 20 minutos respondendo ao questionário nos 5 minutos restantes. As condições meteorológicas foram levantadas durante a aplicação do questionário, obtendo-se dados de temperatura, umidade e velocidade do ar e temperatura do entorno. O questionário considerava a sensação térmica (calor/frio) e conforto térmico (confortável/desconfortável). Com base nos dados experimentais desenvolveu-se equação de predição da sensação de conforto do indivíduo em área externa:

$$TS = 1,7 + 0,118 t_{ar} + 0,0019 I_H - 0,322 v - 0,0073 ur + 0,0054 t_{s,ent} \quad [\text{Eq.13}]$$

onde: TS = índice de sensação térmica; t_{ar} = temperatura na sombra, em °C; I_H = radiação solar no plano horizontal, em W/m^2 ; v = velocidade do vento, em m/s; ur = umidade relativa, em %; $t_{s,ent}$ =

temperatura superficial média do entorno, em °C. A escala de valores adotada para interpretação dos resultados é apresentada na Tabela 6.

Tabela 6: Índice de sensação térmica: Thermal Sensation (TS), Givoni & Noguchi (2003, p.79).

TS	Classificação
1	Muito frio
2	Frio
3	Pouco frio
4	Neutralidade térmica
5	Pouco quente
6	Quente
7	Muito quente

6. NOVA TEMPERATURA RESFRIADA PELO VENTO: NEW WIND CHILL TEMPERATURE (NWCT)

A nova temperatura resfriada pelo vento foi determinada a partir da combinação dos trabalhos de BLUESTEIN & ZECHER (1999) e OSCZEWSKI (2000a, 2000b). BLUESTEIN & ZECHER (1999) desenvolveram um novo índice baseado no índice de SIPLE & PASSEL (1945). Este índice gerava valores muito altos, especialmente a temperaturas do ar muito baixas e altas velocidades do vento. Bluestein & Zecher verificaram que Siple & Passel não haviam levado em conta a resistência do modelo físico em seus experimentos, sobre estimando o efeito da transferência de calor. O novo índice utiliza modelagem matemática que simula a cabeça do indivíduo e as trocas desta com o meio, considerando a temperatura e velocidade do ar. Osczevski (2000a, 2000b) apresenta um índice baseado na temperatura e velocidade do ar, considerando ainda um fator de correção para a radiação solar. Desenvolve ainda um índice que determina o risco de congelamento sob determinadas circunstâncias climáticas. Para avaliar suas proposições, foi utilizado um manequim de cabeça térmico, controlado computacionalmente e ainda testes com voluntários em câmaras climatizadas.

Bluestein & Osczevski (2002) apresentam o trabalho de pesquisa empírica para reformulação das equações para determinação da nova temperatura resfriada pelo vento. Os ensaios para a determinação do novo índice basearam-se na modelagem física do rosto do indivíduo exposto ao vento, através da metade frontal de um cilindro vertical térmico, de 180mm de diâmetro externo, composto de 25 camadas concêntricas, simulando as trocas de calor. Adotou-se uma velocidade do indivíduo igual a 4,8 km/h (1,3 m/s), obtida a partir de pesquisas realizadas com pedestres atravessando ruas em cruzamentos. Assumiu-se, como pior caso, que o indivíduo anda contra o vento, somando-se as suas velocidades para determinação do índice, o qual não computa o efeito da radiação solar. Com relação às trocas radiativas, assume também o pior cenário, considerando uma noite de céu aberto. Assim, o valor da temperatura resfriada pelo vento é calculado com base em uma velocidade do ar relativa de 4,8 km/h, representando uma configuração onde a taxa de perda de calor e a temperatura da pele são equivalentes a uma dada situação real de temperatura e velocidade do ar.

As equações para determinação da temperatura resfriada pelo vento e do tempo no qual ocorre congelamento da superfície da pele do rosto (Frostbite time):

$$NWCT = 13,12 + 0,6215 \cdot t_{ar} - 11,37 \cdot v_{10}^{0.16} + 0.3965 \cdot t_{ar} \cdot v_{10}^{0.16} \quad [Eq.14]$$

$$\text{para } t_{ar} \leq 10 \text{ °C e } v_{10} \geq 4,8 \text{ km/h}$$

onde: NWCT = nova temperatura resfriada pelo vento, em °C; t_{ar} = temperatura do ar, em °C; v_{10} = velocidade do ar a 10m do solo, em km/h

$$Ft = \{ \{-24,5 \cdot [(0,667 \times v_{10}) + 4,8]\} + 2111\} \times (-4,8 - t_{ar})^{-1.668} \quad [Eq.15]$$

onde: Ft = tempo no qual ocorre congelamento da superfície do rosto, em min

7. NOVA TEMPERATURA PERCEBIDA: PERCEIVED TEMPERATURE (PT*)

JENDRITZKY (2003) propõe a Nova Temperatura Percebida. Devido às limitações do Modelo Climático de Michel (MONTEIRO, 2005), este seria adaptado sucessivamente. Primeiramente, em 1995, a partir dos estudos de STAIGER et al. (1998), passou-se a utilizar a temperatura percebida (PT - Perceived Temperature) ao invés do PMV de Fanger. Em 1998, revisou-se o modelo de radiação a partir do VDI 3789 Part 2 (VDI, 1994), dando origem ao modelo RayMan, proposto por MATZARAKIS et al. (2000). Por fim, em 2000, a partir do estudo da proposição do PMV* de GAGGE et al. (1986), chegou-se à determinação de uma nova temperatura percebida (PT*).

Desta forma, o Modelo Climático de Michel é hoje composto por quatro módulos sucessivos: (1) o modelo de radiação RayMan proposto por Matzarakis; (2) a abordagem de temperatura radiante média (T_{rm}) de Fanger; (3) o modelo de balanço de energia do corpo humano; (4) o cálculo da nova temperatura percebida (PT*). Através do modelo de Matzarakis determinam-se os fluxos radiativos de onda curta e onda longa. Através da abordagem de Fanger, determina-se a temperatura radiante média. Efetua-se então o balanço de energia do corpo humano. Os valores encontrados para o balanço, para a temperatura de pele e para o calor evaporado por suor regulatório no ambiente em avaliação, devem ser utilizados para o cálculo da temperatura do ar no ambiente de referência, obtendo-se assim o valor da nova temperatura percebida (PT*).

A temperatura percebida, apresentada por JENDRITZKY (2003), equivale à temperatura de um ambiente de referência, definido com relação às variáveis micro-climáticas e individuais, conforme descrito a seguir: temperatura radiante média igual à temperatura do ar ($t_{rm} = t_a$); umidade relativa (ur) igual a 50%; velocidade do ar (v_{ar}) igual a 0 km/h; velocidade relativa do indivíduo em relação ao ar (v_r) igual a 4 km/h; metabolismo (M) igual a 172,5 W (2,3 met), equivalente ao andar a 4 km/h; resistência da roupa (I_{ci}) de 0,5 a 1,75 clo (selecionada seletivamente de acordo com as condições climáticas).

8. ÍNDICE TERMO-CLIMÁTICO UNIVERSAL: UNIVERSAL THERMAL CLIMATE INDEX (UTCI)

O índice termo-climático universal (UTCI) está em desenvolvimento através da Comissão 6 da Sociedade Internacional de Biometeorologia (International Society of Biometeorology - ISB). Esta comissão foi criada especificamente para tal propósito (ISB, 2004).

O responsável e co-responsável pela comissão são, respectivamente: Gerd Jendritzky (Deutscher Wetterdienst, Friburgo, Alemanha), criador do Modelo Climático de Michel (KMM) e proponente da nova temperatura percebida (PT*); e Richard de Dear (Universidade Macquarie, Sídney, Austrália) criador do modelo de radiação OUT_MRT e proponente da adaptação da nova temperatura efetiva padrão para ambientes externos (OUT_SET*). São membros da referida comissão: Peter Höppe (ISB e Universidade de Munique, Alemanha), criador do Modelo de Munique (MEMI) e proponente da temperatura equivalente fisiológica (PET); Krzysztof Blazejczyk (Universidade de Warszawa, Polónia), criador do modelo MENEX e proponente do uso conjunto dos índices: carga térmica (HL), estímulo da radiação solar (R') e esforço fisiológico (PhS), e ainda dos índices de temperatura subjetiva (STI) e perspiração sensível (SP); Ingvar Holmér (National Institute for Working Life, Solna, Suécia), responsável pela comissão de desenvolvimento das normas internacionais relativas a ambientes térmicos; George Havenith (Universidade de Loughborough, Inglaterra), proponente do índice de esforço previsto por calor (PHS); Fergus Nicol (Universidade de Oxford Brookes, Inglaterra), realizador do congresso de Windsor, 2001; Maurice Bluestein (Universidade de Purdue, Indianápolis, EUA), proponente, juntamente com Oszcewski, da nova temperatura resfriada pelo vento (NWCT); Rich Schwerdt (NOAA - National Weather Service, Kansas City, EUA); Abdel Maarouf (Environment Canada, Toronto, Canada), colaborador nos trabalhos de Jendritzky; Robert Steadman (Universidade de La Trobe, Melbourne, Austrália), proponente da nova temperatura aparente (AT*). Contribuem, ainda, como convidados: Jørn Toftun (Universidade Técnica de Copenhagen, Dinamarca), colaborador nos trabalhos recentes de Fanger; Andréas Matzarakis (Universidade de Friburgo, Alemanha), criador do modelo de radiação RayMan para cálculo de temperatura radiante média; Henning Staiger (Deutscher Wetterdienst, Friburgo, Alemanha), colaborador nos trabalhos de Jendritzky.

A referida comissão foi criada em novembro de 2000. Os membros mantiveram contato através de mensagens eletrônicas até junho de 2001, quando ocorreu o primeiro encontro em Friburgo, na Alemanha. O desenvolvimento dos trabalhos continuou por meio eletrônico e um segundo encontro ocorreu em Maio de 2003, em Genebra, na Suíça. Desde então não houve publicações com novas decisões. O resultado das discussões a partir do divulgado pela ISB Commission 6 (2001, 2003) é apresentado a seguir:

Definiu-se, inicialmente, que o índice a ser estabelecido deverá ser termo e fisiologicamente válido, aplicável a todos os tipos de clima e independente das características pessoais dos indivíduos. Assim, com relação à caracterização geral do índice, ficou estabelecido que: (1) o índice termo-climático universal (UTCI) será um índice de temperatura, ou seja, uma temperatura equivalente à temperatura do ar de um ambiente de referência que proporciona as mesmas condições de trocas de calor do que o ambiente em questão; (2) deverá responder por todo o contínuo termo regulatório, nas mais diversas situações climáticas. Isto implica que deverão ser consideradas as diversas situações de adaptação das pessoas no que concerne à variação no tipo de vestimentas, visando manter o conforto; (3) deverá considerar simultaneamente a situação geral do corpo e situações específicas de determinadas partes do corpo como, por exemplo, a pele exposta a riscos de congelamento; (4) será baseado em modelo de termo-regulação de múltiplos nós. O índice deverá considerar ainda os seguintes efeitos fisiológicos: (1) com relação ao frio: hipotermia, exposição da pele e risco de congelamento e desconforto na face, nas mãos e nos pés; (2) com relação ao calor: hipertermia, desidratação e desconforto por calor. Será, assim, necessária a utilização de um modelo que distinga entre áreas de pele nua e de pele coberta por vestimenta. Provavelmente será utilizado algum modelo padrão já desenvolvido e publicado, mas, para cálculo do índice, é admissível que se utilize qualquer modelo que satisfaça as condições exigidas.

Como critérios para os dados de entrada, estabeleceu-se que: (1) a topografia geral a ser considerada é de paisagem plana, modelada através de dois hemisférios, podendo-se considerar ainda uma topografia regional ou local, por exemplo, através da configuração de canyons urbanos, para determinação de situações urbanas específicas; (2) os fluxos radiativos de onda longa e onda curta serão considerados através do cálculo de temperatura radiante média (t_{rm}); (3) os ventos terão altura de referência a 1,1m (de acordo com a ISO 7726, 1998), considerando-se 2/3 do valor da velocidade do vento observado na estação meteorológica (normalmente a 10m). Assume-se que o vento incida lateralmente no indivíduo, ou seja, a 90 graus. Assim, a velocidade relativa é obtida somando-se vetorialmente as velocidades do vento e do indivíduo. O ambiente de referência para cálculo da temperatura equivalente é assim determinado: (1) temperatura radiante média igual ao do ar ($T_{mrt} = T_{ar}$); (2) umidade relativa (ur) igual a 50%; (3) ar parado (apenas uma velocidade relativa de 1,1 m/s na altura do indivíduo, induzida pelo caminhar). Para as variáveis individuais, tem-se: (1) metabolismo (M) igual a 135 W/m², equivalente a andar a 4 km/h (1,1 m/s); (2) resistência da roupa variável entre 0,5 e 2,0 clo. Assume-se que as pessoas variam o tipo de roupa, adaptando-se a diferentes situações térmicas, objetivando alcançar o conforto térmico. Assim, provavelmente, a faixa de valores a ser considerada é a acima apresentada. Fora dos limites teóricos de conforto, o valor da resistência da roupa será mantido fixo.

As próximas atividades da comissão são a validação dos resultados de novos modelos analíticos complexos e a discussão do modo de consideração da base de dados fisiológicos. O objetivo final é o estabelecimento de um índice universal que contemple todos os processos fisiológicos termo-regulatórios na diversidade de possíveis condições climáticas e de possíveis adaptações em termo de vestimentas, fornecendo escalas regionais de conforto e de alerta de perigo.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O artigo “Índices de Conforto Térmico em Espaços Abertos. Parte 1: Revisão Histórica” apresentou 16 índices propostos ao longo do século XX. Através destes estudos, observa-se que índices empíricos respondem significativamente às situações específicas em que foram determinados. Quando há intenção de se obter respostas universais, a tendência é a utilização de modelos analíticos. Neste artigo, tratando-se agora do atual estado da arte das pesquisas, confirma-se esta tendência.

O trabalho empírico de Givoni & Noguchi (2000), propondo o Índice de sensação térmica (TS), é desenvolvido a partir de experimentos desenvolvidos pela Fujita Corporation em um parque da cidade de Yokohama, no Japão. O índice proposto, por ser gerado a partir da correlação direta dos valores encontrados na pesquisa em específico, apresenta respostas significativas apenas para a situação em

análise ou bastante similares. As pesquisas experimentais de Bluestein & Osczevski (2002), que levaram a determinação da Nova temperatura resfriada pelo vento (NWCT), também correlacionam variáveis visando atender necessidades específicas. O índice considera apenas duas variáveis, sendo válido apenas para temperaturas do ar inferiores a 10 °C e velocidades do ar superiores a 4,8 km/h.

Por outro lado, têm-se os trabalhos com modelos analíticos, que pretendem fornecer respostas universais. BLAZEJCZYK (1996) propõe o modelo MENEX, de apenas um nó, mas que fornece uma série de índices - Carga térmica (HL), Estímulo devido à intensidade de radiação solar (R'), Esforço fisiológico (PhS), Suor aparente (SP) - que, analisados em conjunto, fornecem uma avaliação térmica e fisiológica dos processos em ação. HÖPPE (1999) com o Modelo de Munique (MEMI), de dois nós, busca uma descrição mais apurada das trocas termo-fisiológicas. Com a Temperatura equivalente fisiológica (PET), o autor propõe um índice de temperatura equivalente à sensação térmica do indivíduo, ao invés de fornecer uma série de índices que dependam de escalas pré-definidas. Esta característica de se utilizar uma escala de temperatura de sensação térmica retoma os primeiros índices do século passado, que visavam fornecer uma resposta à questão do conforto térmico que fosse de fácil compreensão. O modelo de dois nós de GAGGE (1967), que propõe como índice a Nova temperatura efetiva padrão (SET*), já faz uso desse princípio. E é exatamente a partir dos trabalhos desse autor, que PICKUP & DEAR (1999) propõem a Temperatura efetiva padrão externa (OUT-SET*), considerando a radiação através de um modelo próprio (OUT-MRT). JENDRITZKY (2003) revisa seu Modelo de Michel (KMM), também considerando a radiação a partir de modelo específico - Rayman de MATZARAKIS (2000) - e, abandonando o PMV de Fanger, propõe a Nova temperatura percebida (PT*), a partir dos estudos de STAIGER et al. (1998) e também de GAGGE et al. (1986).

Apesar de GAGGE (1967) ter proposto um modelo de dois nós originalmente com índice baseado em temperatura equivalente de sensação térmica, em GAGGE et al. (1986), temos uma adaptação do modelo com a proposição do PMV*. Esta adaptação se deu devido à grande aceitação do índice PMV, de FANGER (1970), para a avaliação de ambientes internos condicionados artificialmente. Curiosamente, para avaliação de ambientes externos, parece ser uma tendência à adoção, não de escalas pré-determinadas, mas de temperaturas representativas de sensação térmica. Podemos observar este fato a partir dos trabalhos de HÖPPE (1999), PICKUP & DEAR (1999) e JENDRITZKY (2003), baseados exatamente nos trabalhos de Gagge.

A tendência em utilizar temperaturas equivalentes de sensação térmica é confirmada pelos trabalhos em andamento da Comissão 6 da Sociedade Internacional de Biometeorologia (ISB, 2004): os valores de saída do índice termo-climático universal (UTCI) serão padronizados em unidades de temperatura. Contudo, haverá escalas de conforto e de alerta de perigo estabelecidas regionalmente, uma vez que se reconhece que a adaptação e a aclimação são aspectos importantes na interpretação do conforto e no estabelecimento de critérios de perigo. Talvez seja esta a direção das pesquisas futuras: desenvolver, por um lado, modelos analíticos universais representativos dos processos termo-fisiológicos e, por outro, calibrações particulares que satisfaçam os processos de adaptação e aclimação. Talvez, também, já seja possível vislumbrar o desenvolvimento de modelos analíticos transientes, capazes de considerar os processos térmicos e fisiológicos, inclusive de adaptação e aclimação, deixando para a calibração apenas o trabalho, não menor, de correlação com as preferências de sensação térmica.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BLAZEJCZYK, Krysztof. (2001) "Assessment of recreational potential of bioclimate based on the human heat balance". in: International Workshop on Climate, Tourism and Recreation, 1, 2001, Halkidiki, Greece. ISB, p. 133-52.
- _____. (2002) "*Man-environment heat exchange model*". <http://www.igipz.pan.pl/klimat/blazmenex.ppt>. Acesso realizado em 24/04/2004.
- BLUESTEIN, M. (1998) "An evaluation of the wind chill factor: its development and applicability". *Journal Biomech*, 120, p. 255-8.
- BLUESTEIN, M.; OSCZEWSKI, R. (2002) "Wind chill and the development of frostbite in the face". Preprints, in: 15th Conference on Biometeorology and Aerobiology, Kansas City, MO, American Meteorology Society, p. 168-71.
- BLUESTEIN, M.; ZECHER, J. (1999) "A new approach to an accurate wind chill factor". *Bulletin of American Meteorology Society*, 80, p.1893-9.

- DEAR, Richard de; PICKUP, Janelle. (2000) An outdoor thermal comfort index: applications. in: International Congress of Biometeorology, 15, 1999, Sydney. Geneve: WMO, p. 285-90.
- GAGGE, A. P.; STOLWIJK J. A. J. ; HARDY, J. D. (1967) "Comfort and thermal sensations and associated physiological responses at various ambient temperatures". *Environ. Res.*, 1, p. 1-20.
- GAGGE, A. P.; FOBELETS, A. P.; BERGLUND, L. G. (1986) "A standard predictive index of human response to the thermal environment". *ASHRAE Trans*, 92, p. 709-31.
- GIVONI, Baruch; NOGUCHI, Mikiko; SAARONI, Hadas; YAACOV, Yaron; FELLER, Noa; BECKER, Stefan. (2003) "Outdoor comfort research issues". *Energy and Buildings*, 35(1), p. 77-86, jan.
- HÖPPE, Peter R. (2002) "Different aspects of assessing indoor and outdoor thermal comfort". *Energy and Buildings*, 34(6), p. 661-5, jul.
- _____. (2001) Different aspects of assessing indoor and outdoor thermal comfort. in: *Moving Thermal Comfort Standards into the 21st Century*, 2001, Windsor, UK. Oxford Brookes University, p. 368-75.
- _____. (1999) "The physiological equivalent temperature: a universal index for the assessment of the thermal environment". *International Journal of Biometeorology*, 43, p. 71-5.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION STANDARDIZATION (1998). *ISO 7726*. Ergonomics of the thermal environment: instruments for measuring physical quantities. Genève: ISO.
- ISB (International Society of Biometeorology). (2004) "Guidelines for ISB Commissions and Study Groups". Oklahoma, ISB. Disponível em <http://www.biometeorology.org/study.htm>. Visita realizada em 09/10/2004.
- ISB Commission 6 for the development of a Universal Thermal Climate Index (2003). "Report for 2003". Geneve.
- _____. (2001) "Meeting Report", June 7-8. Freiburg, ISB Commission.
- JENDRITZKY, Gerd. (2003) "Perceived temperature: Klima-Michel-model". in: *The Development of Heat Stress Watch Warning Systems for European Cities*. Freiburg May 3, 2003. Disponível em www.gees.bham.ac.uk/research/phewe/freiburg. Visita realiza em 09/10/2004
- JENDRITZKY, Gerd; MAAROUF, Abdel; STAIGER, Henning. (2001) "Looking for a universal thermal climate index: UTCI for outdoor applications". in: *Moving Thermal Comfort Standards into the 21st Century*, 2001, Windsor, UK. Oxford Brookes University, p. 353-67.
- MATZARAKIS, Andreas; RUTZ, F.; MAYER, H. (2000) "Estimation and calculation of the mean radiant temperature within urban structures". in: *International Congress of Biometeorology & International Conference on Urban Climatology*, 15, 1999, Sydney. Geneve: WMO, p. 273-8
- OSCZEWSKI, R. J. (2000a) Understanding windchill. *Internet Workshop on Windchill*, April 3-7, 2000. Toronto: Meteorological Service of Canada - Environment Canada.
- _____. (2000b) "Windward cooling: an overlooked factor in the calculation of wind chill". *Buletin of American Meteorological Society*, 81, p. 2975-8.
- PICKUP, J.; DEAR, R. (1999a) "An outdoor thermal comfort index: the model and its assumptions". in: *International Congress of Biometeorology*, 15, 1999, Sydney. Geneve: WMO, p. 279-84.
- PICKUP, J.; DEAR, R. (1999b) "An outdoor thermal comfort index: applications". in: *International Congress of Biometeorology*, 15, 1999, Sydney. Geneve: WMO, p. 285-90.
- POTTER, J.; DEAR, R. (2000) "Field study to calibrate an outdoor thermal comfort index". in: *International Congress of Biometeorology & International Conference on Urban Climatology*, 15., 1999, Sydney. Geneve: World Meteorological Organization, p. 315-20.
- SIPLE, P. A.; PASSEL C. F. (1945) "Measurements of dry atmospheric cooling in subfreezing temperatures". in: *Proceedings of the American Philosophical Society*, 89(1), p.177-99.
- WILLIAMSON, S. P. (coord.). (2003) "Report on wind chill temperature and extreme heat indices: evaluation and improvement projects". Washington: The Office of The Federal Coordinator For Meteorological Services And Supporting Research.

11. AGRADECIMENTO

O autor agradece à Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro.