

## **AValiação DO CONFORTO TéRMICO DE ESTUDANTES DO ENSINO FUNDAMENTAL NA REGIÃO NOROESTE DO RS**

**Nébora Lazzarotto (1); Joaquim Cezar Pizzutti dos Santos (2)**

(1) Universidade Federal de Santa Maria, Campus Camobi, Cep 97 105 900, Santa Maria, RS, Brasil,  
Fone 0XX 55 3333 4887, e-mail: [nebora@terra.com.br](mailto:nebora@terra.com.br)

(2) Universidade Federal de Santa Maria, Campus Camobi, Cep 97 105 900, Santa Maria, RS, Brasil,  
Fone 0XX 55 3220 8837, e-mail: [joaquim@smail.ufsm.br](mailto:joaquim@smail.ufsm.br)

### **RESUMO**

Pesquisas em laboratório embasaram os estudos de conforto térmico a partir do balanço de calor entre o corpo e o meio. A normalização é baseada em tais formulações e em estudos de campo. Este trabalho objetivou verificar a aplicabilidade dos modelos normalizados para a avaliação de conforto térmico de crianças em atividade escolar, pois na infância a taxa metabólica é mais elevada do que na idade adulta, sendo esta variável atuante no equilíbrio térmico. A fim de considerar esta diferenciação, adotou-se um procedimento capaz de prever com aproximação a taxa metabólica a partir de características pessoais e nível de atividade. As pesquisas foram realizadas em salas de aula com alunos de escolas de Ijuí (RS). Foram coletadas as variáveis ambientais e pessoais, bem como as sensações e preferências térmicas das crianças. Efetuou-se análises descritivas e comparativas entre os resultados e os índices calculados segundo os modelos normalizados. Concluiu-se que existe a tendência de as crianças sentirem mais calor do que o modelo PMV estima. Observou-se que o modelo adaptativo mostrou-se satisfatório para avaliação em dias quentes, contudo não avalia com precisão a atuação da vestimenta em dias frios, a qual estende o intervalo de conforto para temperaturas mais baixas.

### **ABSTRACT**

Researches developed studies of thermal comfort from the theory of the alternation of heat between the body and the environment. The normalization of thermal comfort is based on such formulations and in the field studies. This present work made an effort to verify the applicability of the normalized models for the evaluation of the real conditions of children's thermal comfort in school activity, therefore in infancy the metabolic rate is higher than in the adult age, being this a personal active variable in the thermal balance. In order to consider this differentiation, a calculation procedure was adopted capable to predict the total metabolic rate starting from personal characteristic and activity level. The researches were accomplished at classroom with students of schools of Ijuí (RS). The environmental and personal variables were collected as well as the sensations and the occupants' thermal preferences. Descriptive and comparative analyses were accomplished between the gathered data and the normalized models. The work concludes the children's tendency exists to feel more heat than the model esteem. Also the adaptive model it was shown satisfactory for evaluation in days of heat, however doesn't appreciate accurately the performance of the garment, which extends the comfort interval for lower temperatures.

## **1. INTRODUÇÃO**

O embasamento dos estudos de avaliação de conforto térmico encontra-se no balanço de calor entre o indivíduo e o meio, uma vez que a condição principal para que haja conforto é o equilíbrio entre o calor gerado pelo organismo e o calor dissipado ao ambiente. As trocas de calor, determinantes do estado térmico do homem, são influenciadas por variáveis físicas, características do ambiente, e variáveis pessoais, próprias dos ocupantes.

FANGER (1970) desenvolveu pesquisas em câmaras climatizadas, a partir das quais formulou o Modelo do Voto Médio Estimado (PMV) largamente utilizado em estudos de avaliação de conforto térmico, o qual é normalizado pela ISO7730 (1997) e ASHRAE (2004).

Pesquisas de campo têm sido desenvolvidas em todos os continentes visando retratar as situações reais vivenciadas pelas pessoas. HUMPHREYS E NICOL (2001) apontam que a temperatura interna de conforto deve refletir a temperatura média mensal externa local. O que poderia eliminar a idéia pré-definida de uma temperatura interna única e assim reduzir gastos energéticos, uma vez que é reduzida a diferença entre a temperatura interna e externa.

Com base nas constatações que as pessoas adaptam-se naturalmente às condições climáticas externas, a ASHRAE (2004) propõe um método alternativo para determinação das condições térmicas aceitáveis em edifícios ventilados naturalmente, o qual determina o intervalo de conforto a partir da temperatura externa.

No ambiente escolar, pesquisas apontam (XAVIER, 1999 e BERNARDI, 2001) que condições de desconforto térmico podem ser responsáveis por sonolência, aumento da sudorese, além de alterações nos batimentos cardíacos. Tais manifestações fisiológicas acabam por dificultar a concentração do aluno e, assim, interferir significativamente no aprendizado.

Com vistas a ampliar os dados acerca das condições de conforto térmico para ambientes escolares, e diante da carência de pesquisas deste tipo aplicadas a crianças, o presente estudo busca investigar os parâmetros de aceitabilidade térmica de crianças em atividade de sala de aula.

## **2. OBJETIVO**

Verificar a adequação do Modelo do Voto Médio Estimado (PMV), desenvolvido por FANGER (1970), e do método alternativo para a determinação das condições térmicas aceitáveis em espaços condicionados naturalmente, proposto pela ASHRAE (2004), para a avaliação das reais condições de conforto térmico de crianças do ensino fundamental em atividade escolar, considerando o clima da cidade de Ijuí, localizada na região noroeste do estado do Rio Grande do Sul.

## **3. METODOLOGIA**

### **3.1 Caracterização do objeto de estudo**

Dado o objetivo de avaliar as condições de conforto térmico de crianças em atividade escolar, foram escolhidas aleatoriamente cinco turmas de dois colégios da rede privada da cidade de Ijuí (RS), totalizando uma amostra de 115 alunos. Determinou-se trabalhar com turmas da terceira e quarta séries do ensino fundamental, uma vez que nestas séries os alunos encontram-se na faixa etária de 8 a 11 anos e, portanto, com capacidade de discernimento que os torna aptos a responder a pesquisa.

As pesquisas de campo foram realizadas em sala de aula, quinzenalmente, durante os meses de março, abril, maio, junho e agosto do ano de 2006. Os horários das medições foram definidos buscando alterar o menos possível a rotina em sala de aula, de modo a não se obter resultados equivocados. A coleta dos dados ocorreu após uma hora de aula, quando a atividade sedentária dos alunos já estava estabilizada e quando o efeito térmico do almoço já estava completo.

### 3.2 Medições preliminares e materiais utilizados

Foram realizadas medições preliminares visando estabelecer os pontos definitivos de medição. Nesta ocasião também foi realizado o primeiro contato com os alunos e professores, sendo explicado como seria a participação dos mesmos na pesquisa.

Dado que as salas de aula das turmas pesquisadas contavam com plantas em forma de retângulo alongado e quadrado (com área variando de 41,0 m<sup>2</sup> a 75,0m<sup>2</sup>) optou-se, na medição preliminar, por coletar as variáveis ambientais em seis ou nove pontos os quais foram distribuídos de acordo com a área de cada sala. Sendo os critérios utilizados nas medições estabelecidos de acordo com a ISO7726(1996).

Ainda na etapa inicial das pesquisas de campo, os alunos foram pesados e medidos, bem como anotados o nome, sexo e idade de cada um, a fim de possibilitar o cálculo da taxa metabólica de cada criança para atividade escolar. A mesma foi calculada a partir da Equação de *Schoefield* (SHILS *et al*, 2003) e a seguir foi aplicada a Formulação da *De Food and Nutrition Board, National Research Council* (MAHAN e STUMP-1998), conforme é apresentado no item 3.3, a fim de determinar a taxa metabólica para cada criança.

Para as medições das variáveis ambientais de temperatura média radiante e velocidade do ar, utilizou-se o Analisador Climático Interno (Brüel & Kjaer tipo 1213), o qual mede simultaneamente as condições ambientais através transdutores conectados ao aparelho via cabos. A temperatura do ar e umidade relativa foram obtidas através do HOBO H8 *data logger* (Onset Computer Corporation) o qual conta com sensores internos. A medição das variáveis ocorre mediante prévia programação deste equipamento a qual é efetuada através da conexão via cabo a um microcomputador, sendo utilizado para tanto o software *BoxCar Pro4*. A leitura dos dados obtidos também é feita através da conexão via cabos e utilização do referido software. As Figuras 1 e 2, a seguir, apresentam os referidos equipamentos utilizados.



Figura 1 - Analisador Climático Interno (Brüel & Kjaer tipo 1213)



Figura 2 - HOBO H8 *data logger* (Onset Computer Corporation)

#### Figuras 1 e 2 – Equipamentos utilizados na medição das variáveis ambientais

### 3.3 Cálculo da taxa metabólica

A ISO 7730 (1994) e ASHRAE (2004) apresentam tabelas com valores da taxa metabólica para atividades usuais considerando pessoas adultas. Dado que esta variável é mais elevada na infância, em função do período de crescimento rápido, é possível que a mesma tenha interferência direta na condição de conforto térmico.

Segundo a ISO8996 (1990), o método mais preciso de determinação da taxa metabólica é através da medição direta do consumo de oxigênio e produção de dióxido de carbono. Tendo em vista que o referido método seria de difícil aplicação numa pesquisa de campo com crianças, este trabalho buscou uma previsão aproximada para esta variável, o qual se baseia na aplicação das Equações de *Schofield* (SHILS *et al*, 2003), capazes de prever o Gasto Energético em Repouso (GER) em crianças, as quais são apresentadas na Tabela 1 a seguir.

**Tabela 1 - Equações de Schofield: Gasto Energético em Repouso (REE) em Crianças**

Faixa etária (anos)	Kcal/dia*
Sexo Masculino	
0 – 3	$0,167P + 15,174A - 617,6$
3 – 10	$19,59P + 1,303A + 414,9$
10-18	$16,25P + 1,372A + 515,5$
Sexo Feminino	
0 – 3	$16,252P + 10,232A - 413,5$
3 – 10	$16,969P + 1,618A + 371,2$
10-18	$8,365P + 4,65 + 200,0$

Fonte: Adaptado de Schofield WN, *apud* SHILS *et al* (2003) pág.952  
Hum. Nutr. Clin. Nutr. 1985; 39C(1s):5-42 \* P, peso (Kg); A, altura (cm)

Uma vez calculado o valor do GER e conhecido o nível de atividade desempenhada, é possível descobrir o Gasto Energético Total (GET) através da formulação da *Food and Nutrition Board, National Research Council* (MAHAN e STUMP, 1998) a seguir apresentada na Tabela 2.

**Tabela 2 - Gasto de energia aproximado para níveis de atividade como múltiplos do Gasto de Energia no Repouso (GER)**

Categoria de atividade	Energia como um múltiplo de GER	Kcal/min
Repouso Dormindo, reclinado	GER x 1,0	1-1,2
Muito leve Atividades sentado e de pé, trabalhando no comércio, dirigir, trabalhar em laboratório, datilografar, costurar, passar roupa, cozinhar, tocar instrumento musical	GER x 1,5	até 2,5
Leve Andar em superfície plana de 2,5 a 3,0mph, trabalho em garagem, eletricista, carpintaria, restaurante, limpeza doméstica, cuidar de criança, jogar golfe, navegação, tênis de mesa	GER x 2,5	2,5 – 4,9
Moderado Andar com velocidade de 3,5 a 4,0mph, trabalhar com enxada, carregar peso, pedalar, esquiar, jogar tênis e dançar	GER x 5,0	5,0 – 7,4
Pesado Subir ladeira ou montanha carregando peso, subir em árvores, cavar sem auxílio de ferramenta elétrica, pular, jogar basquete, futebol norte americano, futebol	GER x 7,0	7,5-12,0

Adaptado: De Food and Nutrition Board, National Research Council, NAS: Recommended Dietary Allowances, 10ª ed. Washington, DC, National Academy Press, 1989, p.27

Fonte: MAHAN e STUMP (1998) página 21

O Gasto Energético Total é o resultado da multiplicação do GER por um índice que expressa o nível de atividade (repouso, muito leve, leve, moderado, pesado). Assim, uma criança de 8 anos, do sexo feminino, pesando 30kg e medindo 130cm teria um GER de 1099,61 Kcal/dia, o que equivale a 45,44 Kcal/h ou 0,75 Kcal/min. Segundo a formulação apresentada no Tabela 2, para uma atividade de nível leve, como escrever sentado, o gasto energético seria de 1,125 Kcal/min ou 67,5kcal/h.

Considerando o Gasto Energético Total empenhado na atividade em função da área de superfície corpórea do indivíduo, a qual é definida a partir da Equação de *Du Bois* (Eq. 01), tem-se o valor da Taxa Metabólica Total, dada em W/m<sup>2</sup> ou em Kcal/hm<sup>2</sup>.

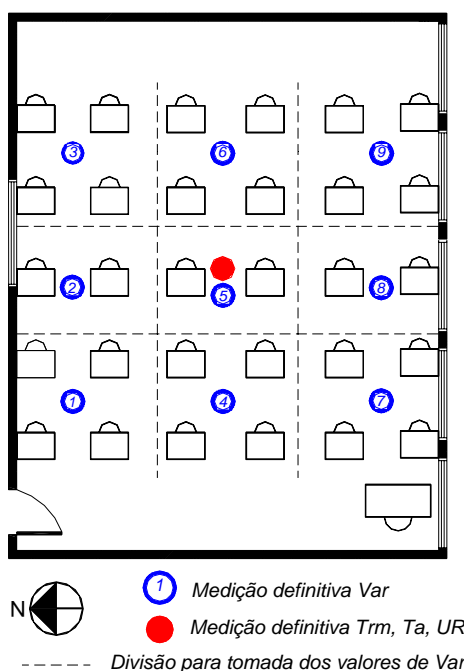
$$A_{DU} = 0,202.m^{0,425}.l^{0,725} \quad [\text{Eq 01}]$$

Onde:  $A_{DU}$  = superfície do corpo nu, m<sup>2</sup>;  
 m = massa do corpo, Kg;  
 l = altura, m

### 3.4 Medições definitivas

Como os valores obtidos nas medições preliminares acusaram pequeno desvio padrão entre os pontos, optou-se por coletar a temperatura do ar, temperatura média radiante e umidade relativa no centro de cada sala. Já a velocidade do ar foi obtida em quatro, seis ou nove pontos distribuídos segundo a divisão da área de cada sala, para assim verificar o valor desta variável na região próxima de cada criança.

A Figura 3 a seguir apresenta a localização dos pontos definitivos de medição.



**Figura 3 – Pontos definitivos de medição**

A coleta dos dados era iniciada com a tomada das variáveis ambientais no ponto central de cada sala. Na seqüência, com o Analisador Climático Interno, eram medidos os valores da velocidade do ar nas regiões próximas dos alunos. Após a coleta das variáveis ambientais, efetuava-se a apresentação do questionário de avaliação subjetiva aos alunos, no qual os entrevistados registravam o seu voto térmico real através da escala de sensações térmicas e escala de preferências térmicas, conforme os padrões da ISO10551 (1995). Enquanto os alunos respondiam ao questionário, era anotada a

localização de cada aluno na sala, a fim de identificar a sua posição com relação à velocidade do ar. Também eram anotadas as peças de roupa que compunham o traje de cada aluno, para possibilitar o cálculo do valor total do isolamento das vestimentas mediante consulta das tabelas constantes na ISO9920(1995) e ASHRAE (2004).

### 3.5 Obtenção dos índices de conforto e análise dos dados

A partir dos valores das variáveis ambientais e pessoais coletados em sala de aula, foram calculados os valores do Voto Médio Estimado (PMV), Percentagem Estimada de Insatisfeitos (PPD), segundo os padrões da ISO7730(1994) e o Percentual de Insatisfeitos Reais para cada uma das pesquisas realizadas.

A seguir, foram efetuadas análises descritivas e comparativas entre os resultados obtidos e os índices de conforto calculados, bem como foram analisados os resultados segundo o método alternativo proposto pela ASHRAE (2004), o qual é específico para edifícios ventilados naturalmente.

## 4. ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

Ao todo, foram realizadas cinquenta pesquisas em sala de aula, englobando duas visitas mensais em cada uma das cinco turmas, o que resultou em 1072 questionários válidos.

Tendo em vista que ao responder ao questionário de avaliação térmica, os estudantes poderiam indicar somente uma entre as sete condições térmicas apresentadas, a qual corresponde a um valor inteiro, e que o valor do PMV calculado resulta num número não inteiro, optou-se por trabalhar com a média dos valores e índices obtidos em cada medição, já que os valores médios tornam-se mais representativos da resposta do grupo, e, portanto mais elucidativos na comparação com os valores de PMV encontrados.

### 4.1 Correlação entre os valores de PMV e as sensações reais

Optou-se por efetuar a correlação entre os valores médios de PMV e sensações médias relatadas, a fim de verificar a relação mútua estabelecida entre tais índices na presente pesquisa, uma vez que ambos são indicativos da condição térmica dos pesquisados e, assim, a análise da correlação é capaz de evidenciar o quanto o modelo normalizado foi explicativo dos dados levantados.

A Figura 4 apresenta a correlação descrita acima e a reta identidade entre as variáveis. A análise de correlação apresentou um coeficiente de correlação ( $r$ ) igual a 0,7915 e um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) igual a 0,6266. O coeficiente de determinação indica que 62,6% das variações das sensações reais são explicadas pelo modelo PMV.

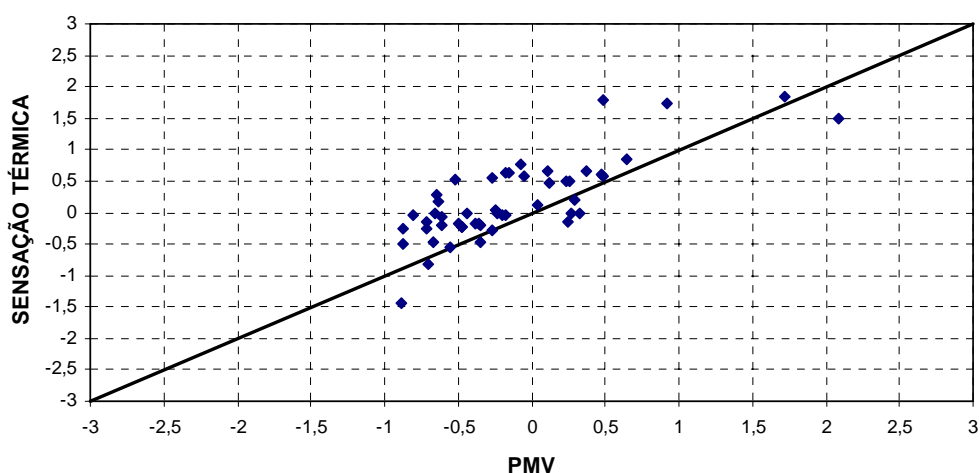


Figura 4 – Correlação entre os valores do PMV e as sensações térmicas reais

Observa-se que, os valores de sensação térmica localizaram-se, predominantemente, ao lado superior da reta. Considerando o total de 50 pontos, representativos dos valores médios encontrados na totalidade das medições: 39 foram plotados acima da reta, o que equivale a 78%; 5 pontos (10%) localizaram-se abaixo desta e 6 pontos (12%) situaram-se sobre a reta.

A tendência apontada de os valores das sensações serem superiores aos valores do PMV evidencia que as crianças relataram sentir mais calor do que o modelo normalizado estima.

A percentagem de valores não explicados pelo modelo, correspondente a 37,4% das medições, é possivelmente representativa de que o modelo PMV não estime plenamente a condição térmica para a população em estudo. O que pode ocorrer devido a imprecisões nos valores adotados para a taxa metabólica, variável esta atuante no cálculo do referido índice.

É pertinente lembrar que na presente pesquisa não foram adotados valores de taxa metabólica tabelados nas normas, mas sim valores determinados segundo o procedimento descrito no item 3.3. Contudo, o método de cálculo utilizado tem precisão apenas aproximada.

Segundo TOFTUM (2002), uma aceleração na atividade por 10 minutos, antes de preencher o questionário de avaliação térmica, resulta em uma sensação térmica levemente alterada. No caso deste estudo, que realiza pesquisa com crianças, variações de atividade dentro da sala de aula eram bastante freqüentes, principalmente os estudantes mais ativos.

Acredita-se que tais variações modestas no ritmo das atividades possam acrescentar variabilidade à sensação térmica das crianças, contribuindo para diferenças individuais na sensibilidade de desconfortos térmicos entre os ocupantes.

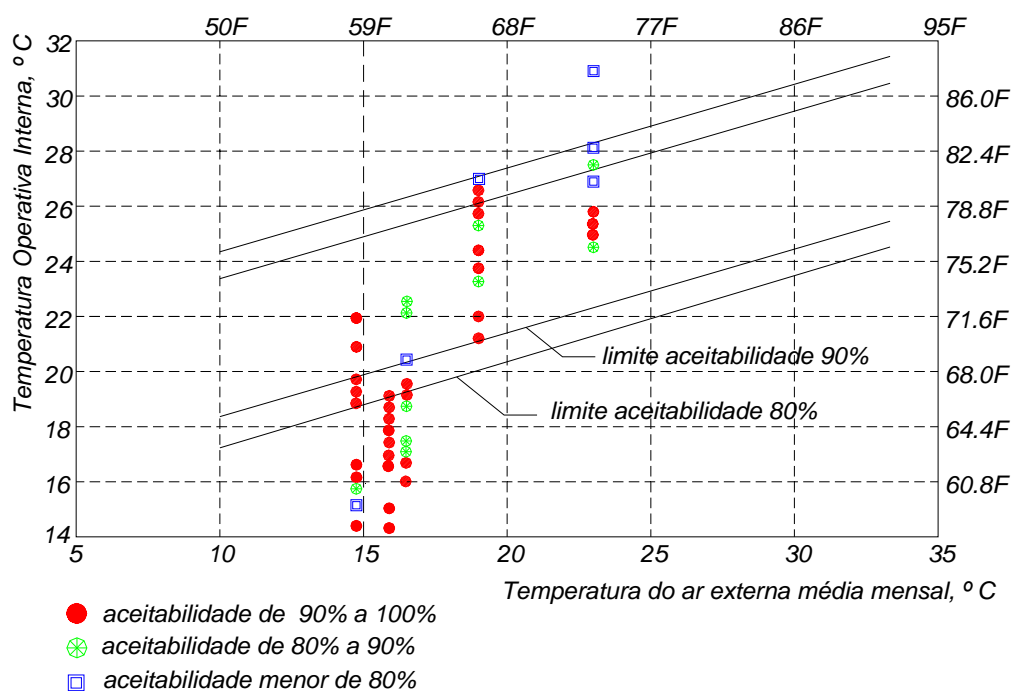
#### **4.2 Análise comparativa dos resultados obtidos segundo o método alternativo para determinação das condições térmicas aceitáveis em espaços condicionados naturalmente (ASHRAE, 2004)**

Em função de as características de ventilação natural das salas estarem de acordo com as exigências da ASHRAE para a utilização do método alternativo, e de os estudantes estarem em atividade sedentária, os resultados obtidos neste trabalho foram aplicados ao referido método.

A Figura 5 apresenta os valores obtidos no presente estudo plotados sobre limite aceitável de temperatura operativa para espaços condicionados naturalmente. A análise dos resultados indica uma maior aceitabilidade do que o método estima, com relação a temperaturas no intervalo de 14 a 20°C. Para esta faixa de temperatura operativa interna, que corresponde à temperatura externa média mensal de 14°C a 16,5 °C, observou-se aceitabilidade predominante de 80 a 90% apesar de o método indicar que tais condições ambientais resultariam em aceitabilidade inferior a estes percentuais.

Observa-se que aproximadamente 50% das medições validam o modelo adaptativo, sendo que as demais revelam claramente a influência do isolamento da vestimenta. É importante salientar que a ASHRAE (2004) considera que os ocupantes do ambiente adaptam sua vestimenta de acordo com a temperatura externa e não sendo, portanto, necessário estimar os valores das vestimentas. No entanto, com relação a este aspecto, verifica-se uma deficiência deste método para a região de estudo, tendo em vista que as pessoas adaptam-se a temperaturas mais baixas do que o intervalo de conforto considera aceitável.

Já nas medições ocorridas em condições de temperatura acima de 20 °C, nas quais os valores médios de isolamento de vestimentas variam de 0,72 a 0,30 clo, os percentuais de aceitabilidade verificados coincidiram com as faixas limites expostas pelo método, mostrando que a previsão da norma está mais adequada a esta faixa de temperaturas para a população pesquisada.



**Figura 5 – Valores obtidos nas medições plotados sobre limite aceitável de temperatura operativa para espaços condicionados naturalmente.**

## 5. CONCLUSÕES

A análise de correlação entre os valores de PMV calculados e as sensações relatadas pelas crianças ao responder o questionário de avaliação térmica indica que 62,6% das variações das sensações reais são explicadas pelo modelo PMV. Percentual este considerado satisfatório, dada a comparação de uma pesquisa de campo com um modelo formulado a partir de experimentos de laboratório. Tal análise valida a utilização do referido modelo normalizado para a população de estudo.

Contudo, a tendência verificada de os valores de sensações relatadas superarem os valores de PMV aponta que as crianças sentem-se levemente mais aquecidas do que o modelo PMV estima. O que possivelmente ocorra devido a imprecisões nos valores de taxa metabólica envolvidos no cálculo do PMV. Esta constatação comprova a importância desta variável pessoal na percepção térmica de crianças.

A comparação dos resultados obtidos com o intervalo de temperatura operativa de conforto proposto pela ASHRAE (2004) para edifícios ventilados naturalmente, permite concluir que, para a população pesquisada, tal método é aplicável apenas para dias de temperatura operativa interna acima de 19 °C. No caso de temperaturas abaixo deste valor, verifica-se a influência da vestimenta, a qual confere aceitabilidade térmica de 80 a 90% para temperaturas operativas de até 14 °C. Para a ASHRAE, tais valores de temperatura configuram aceitabilidade térmica inferior a 80%, o que ocorre devido à falta de consideração do valor do isolamento de vestimentas.

Os resultados obtidos neste trabalho validam o modelo adaptativo, dada a observação de que a interpretação de conforto é diferenciada para populações distintas, pois se verificou a intolerância a temperaturas superiores a 25°C, ao passo que no nordeste do país, ARAÚJO (1996) verificou boa aceitabilidade para esta faixa de temperatura.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASHRAE (2004) “Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy”. American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers. Atlanta. USA.



- ARAÚJO, A. P. R. (1996) “Parâmetros de conforto térmico para usuários de edificações escolares no litoral nordestino”. Universidade de São Paulo. São Paulo.
- BERNARDI, N. (2001) “Avaliação da Interferência Comportamental do Usuário para a Melhoria do Conforto Ambiental em Espaços Escolares: Estudo de Caso em Campinas – SP”. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP.
- FANGER, P. O. (1970) “Thermal Comfort – Analysis And Applications in Environmental Engineering”. McGraw-Hill Book Company. New York.
- HUMPHREYS, M. A.; NICOL, J. F. (2001) “The validity of ISO-PMV for predicting comfort votes in every-day thermal environments”. In: Moving Thermal Comfort Standards into the 21<sup>st</sup> Century. Oxford Brookes University, Windsor.
- ISO 8996 (1990) “Ergonomics - Determination of metabolic heat production”. International Organization for Standardization. Geneva.
- 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. Geneva.
- ISO 9920 (1995) “Ergonomics of the thermal environment – Estimation of the thermal insulation and evaporative resistance of a clothing ensemble”. International Organization for Standardization. Geneva.
- ISO 10551 (1995) “Ergonomics of the thermal environment – Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgement scales”. International Organization for Standardization. Geneva.
- ISO/DIS 7726 (1996) “Ergonomics of the thermal environment – Instruments for measuring physical quantities”. International Organization for Standardization. Geneva.
- MAHAN, L. K.; STUMP, S. E. (1998) “KRAUSE: Alimentos, Nutrição e Dietoterapia”. Ed. Roca. São Paulo.
- SHILS, M. E.; OLSON, J. A.; SHIKE, M.; ROSS, A. C. (2003) “Tratado de Nutrição Moderna na Saúde e na Doença. Vol 1, 9ª edição, Editora Manole. Barueri, SP.
- TOFTUM, J. (2002) “Human response to combined indoor environment exposures”. Energy and Buildings. Lausanne: v.34.
- XAVIER, A. A. P. (1999) “Condições de Conforto Térmico para Estudantes de 2º grau na região de Florianópolis”. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC.