

CONFORTO TÉRMICO EM SALA DE AULA - ESTUDO DE CASO

CARLOS AUGUSTO DE P. SAMPAIO¹; CÉLIO O. CARDOSO²; JAISON C. FLORIANO³,
FRANCHIELLI MOTTER³, HEVERTON R. DA SILVA³,

1. Engo Agrícola, Prof. Adjunto, Depto. de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agroveterinárias, CAV/UDESC, Lages - SC, Fone: (0xx49) 2101 9100, a2caps@cav.udesc.br

2. Eng. Agrônomo, Prof. Doutor, Depto. de Engenharia Rural, CAV/UDESC, Lages - SC.

3. Discentes de Agronomia, CAV/UDESC, Lages - SC.

Apresentado no XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia
02 a 05 de julho de 2007 – Aracaju – SE

RESUMO: As questões relacionadas ao desempenho térmico das edificações principalmente relacionadas ao conforto humano são escassas de informações e tiveram pouca importância durante muito tempo. Com relação às edificações escolares, a maioria apresenta tipologia arquitetônica e sistemas construtivos sem levar em conta as características da área e do clima local, caracterizando um espaço que não satisfaz as necessidades básicas de conforto ambiental, comprometendo-se o ensino-aprendizagem, a saúde física e psicológica dos usuários e interferindo negativamente na motivação e concentração dos alunos, além de provocar gastos para condicionar ambientes e a deterioração de materiais. Objetivou-se neste trabalho avaliar os índices de conforto térmico de uma edificação escolar, propondo soluções para atender as necessidades de conforto térmico. Os resultados mostraram que a Temperatura Efetiva (TE) ficou entre 18,3 e 25,0°C, não superando em horários isolados os limites proposto por Thom (1959), o limite de tolerância ao calor (IBUTG) não foi ultrapassado no período mais desfavorável do ciclo do trabalho conforme estipula a NR-15 e os índices PMV apresentaram dentro do valor considerado termicamente aceitável entre -1,0 e +1,0.

PALAVRAS-CHAVE: FATORES AMBIENTAIS, ESCOLA, CONFORTO TÉRMICO.

THERMAL COMFORT IN CLASSROOM – STUDY OF CASE

ABSTRACT: The subject related to the thermal acting of the constructions mainly to human comfort was rare of information's and had little importance for a long time. Most of school building present architectural typology and constructive systems without taking into account the characteristics of the area and the climate, characterizing a space that don't satisfy the basic need of environmental comfort, they are put in compromising the teaching-learning, the physical and psychological health by the users. These conditions interfere negatively in the motivation and concentration of their students and cause an excessive increase of the electric power consumption to condition atmosphere and the deterioration of materials. The objectives of this work were to evaluate the thermal comfort indexes of a school and proposing solutions to assist the needs of thermal comfort. The results showed that the effective temperature register (TE) used to analyze thermal comfort was Thom's were less of the limits allowed, between 18.3 and 25.0°C, the IBUTG were less than recommended by NR-15 to welfare students and the PMV indexes were less of the limits allowed, between -1,0 and +1,0.

KEYWORDS: ENVIRONMENTAL FACTORS, SCHOOL, THERMAL COMFORT

INTRODUÇÃO: O intervalo de 23 a 25 oC recomendado para o conforto de pessoas em atividades sedentárias (NBR 6401, 1980) é um bom indicativo da necessidade de se avaliar o conforto térmico no Brasil, para melhor adequar o projeto das edificações à satisfação de usuário e à conservação de energia. O trabalho em condições climáticas desfavoráveis produz fadiga, extenuação física e

nervosa, diminuição do rendimento, aumento nos erros e riscos de acidentes, além de expor o organismo a diversas doenças (COUTO, 1987). O índice de temperatura efetiva (TE) desenvolvido por THOM (1959), tem sido amplamente utilizado como indicador do estresse térmico sobre o corpo humano (pessoas adultas vestidas em repouso e com um leve movimento do ar). Os índices desenvolvidos por Fanger, denominado de índice PMV (Predicted Mean Vote) recomendado pela ISO 7730 (1994), considera-se com parâmetros de conforto as seguintes variáveis: temperatura, umidade relativa e velocidade do ar, temperatura radiante média do ambiente, vestimenta trajada pelo indivíduo e metabolismo do indivíduo, visa determinar o grau de conforto ou desconforto térmico de um ambiente, seguindo uma escala de sensação térmica. A sobrecarga térmica, variável que é função da atividade metabólica e do esforço físico envolvido no trabalho, apresenta as condições de desconforto do corpo humano em suas atividades laborais, sendo medido pelo índice de bulbo úmido temperatura de globo - IBUTG (Nr-15/Anexo 3, 1978). Avaliar o ambiente termodinâmico em salas de aula com base no conforto térmico determinado pelos índices TE, PMV e IBUTG são os objetivos deste trabalho.

MATERIAL E MÉTODOS: Este trabalho foi realizado no Centro de Ciências Agroveterinárias, em Lages - SC, com latitude de 27° 49' sul, longitude de 50° 20', oeste, altitude de 940 m. O clima da região, de acordo com KOPPEN, é Cfb (mesotérmico constantemente úmido com verão brando). A cidade de Lages apresenta duas estações bem definidas, uma com verão brando a quente, entre os meses de novembro a março, caracterizado por chuva bem distribuída, umidade relativa média em torno de 77% e temperatura média máxima em torno de 27°C e, outra fria no período de inverno, entre os meses de maio a agosto, predominando ventos frios, chuvas com certa frequência, umidade relativa média em torno de 82% e temperatura média em torno de 14°C. Tem sua localização geográfica cercada por planaltos, com ventos moderados e predominantes na direção nordeste. Foram analisadas duas salas de aula, sendo uma situada no piso inferior (9ª fase) e outra no piso superior (5ª fase), selecionadas por receberem maior insolação. A edificação possui orientação L-O, dois pavimentos, cobertura com laje de concreto armado com sobreposição de telhado em duas águas de estrutura de madeira e telhas cerâmicas, pé-direito de 3 m, paisagismo circundante formado por grama, superfícies externas pintadas de branco e amplas aberturas na face norte formada por janelas de vidro, como mostra a figura 1. Para caracterizar o ambiente térmico, foram registradas temperaturas de bulbo seco, de bulbo úmido, de globo negro, umidade relativa e velocidade do ar no interior de cada sala e no ambiente externo, durante 5 dias consecutivos em novembro de 2006, época de ocupação efetiva das salas. As temperaturas de bulbo seco, bulbo úmido foram obtidos com psicrômetro giratório (Meteoros Instrumentos), a temperatura de globo negro com o termômetro de globo negro (Meteoros Instrumentos) e a umidade relativa do ar foram obtidas em intervalos de 60 min, sempre das 08 às 19 horas. As velocidades de vento interno (V_{int}) e externo (V_{ext}) foram obtidas em intervalos de 60 min (Higrotermoanemômetro HTA 4.2000 Pacer). Os instrumentos foram posicionados na altura de 1,50 m do piso, no ponto geométrico central das salas de aula. O índice de temperatura efetiva (TE) (THOM, 1959) foi determinado pela seguinte expressão: $TE = 0,4 (T_d + T_w) + 4,8$ onde: T_d = Temperatura de bulbo seco, (°C); T_w = Temperatura de bulbo úmido, (°C) e, para valores de TE entre 18,9 e 25,6°C indica zona de conforto térmico, TE inferior a 18,9°C indica situação de stress ao frio e TE superior a 25,6 °C indica stress ao calor. O índice PMV visa determinar o grau de conforto ou desconforto térmico de um ambiente seguindo uma escala de sensação térmica: -3 (muito frio), -2 (frio), -1 (leve sensação de frio), 0 (confortável - neutralidade térmica), +1 (leve sensação de calor), +2 (quente), +3 (muito quente). Foram calculados os índices PMV (ISO 7730, 1994) para a sala de aula e no ambiente externo, adotando as seguintes variáveis: vestimenta caracterizada por roupa leve, adotando-se assim o valor 0,5 clo para a resistência térmica da vestimenta; atividade era sentada, adotando-se com uma atividade metabólica de 70 W.m⁻² (1,2 met); temperaturas de bulbo seco, bulbo úmido e de globo negro (°C); velocidade do ar em m.s⁻¹. O índice PMV foi determinado pela seguinte expressão:

$$PMV = (0,303 e^{-0,036 M} + 0,028) \left\{ (M - W) - 3,05 \times 10^{-3} x [5733 - 6,99 (M - W) - \rho_a] - 0,42 x [(M - W) - 58,15] - 1,7 \times 10^{-5} M (5867 - \rho_a) - 0,0014 M (34 - t_a) - 3,96 \times 10^{-8} f_{cl} x \left[(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4 \right] - f_{cl} h_{cl} (t_{cl} - t_a) \right\}$$

onde: M = taxa metabólica em W/m²; W = trabalho mecânico realizado pelos músculos em W/m²; ρ_a = pressão de vapor d'água em Pa; t_a = temperatura do ar em °C; f_{cl} = razão entre a área de superfície humana com vestimenta e a área da superfície humana sem vestimenta; t_{cl} = temperatura de superfície da vestimenta em W/m².°C; \bar{t}_r = temperatura radiante média em °C; h_{cl} = coeficiente de calor convectivo em W/m².°C. Foi considerada ambiente termicamente aceitável para: -1,0 < PMV < +1,0. O Índice de Bulbo Úmido e Temperatura de Globo (IBUTG) (MINARD et al., 1971) foi determinado pela seguinte expressão: IBUTG = 0,7 Tw + 0,2 Tg + 0,1 Td onde: Tw = Temperatura de bulbo úmido, (°C); Tg = Temperatura de globo negro, (°C); Td = Temperatura de bulbo seco, (°C). A sobrecarga térmica medido pelo IBUTG é empregada para indicar a exposição ao calor em regime de trabalho intermitente com períodos de descanso no próprio local de prestação de serviço e, segundo a Nr-15 não é permitido trabalho sem a adoção de medidas adequadas de controle para IBUTG acima de 32,2°C considerando atividade leve; acima de 31,1°C para atividade moderada e acima de 30,0°C para atividade pesada (trabalho intermitente de levantar, empurrar ou arrastar pesos), medido no período mais desfavorável do ciclo do trabalho. A partir dos dados coletados, utilizou-se o aplicativo PSIAw, desenvolvido por SAMPAIO et al. (2006).

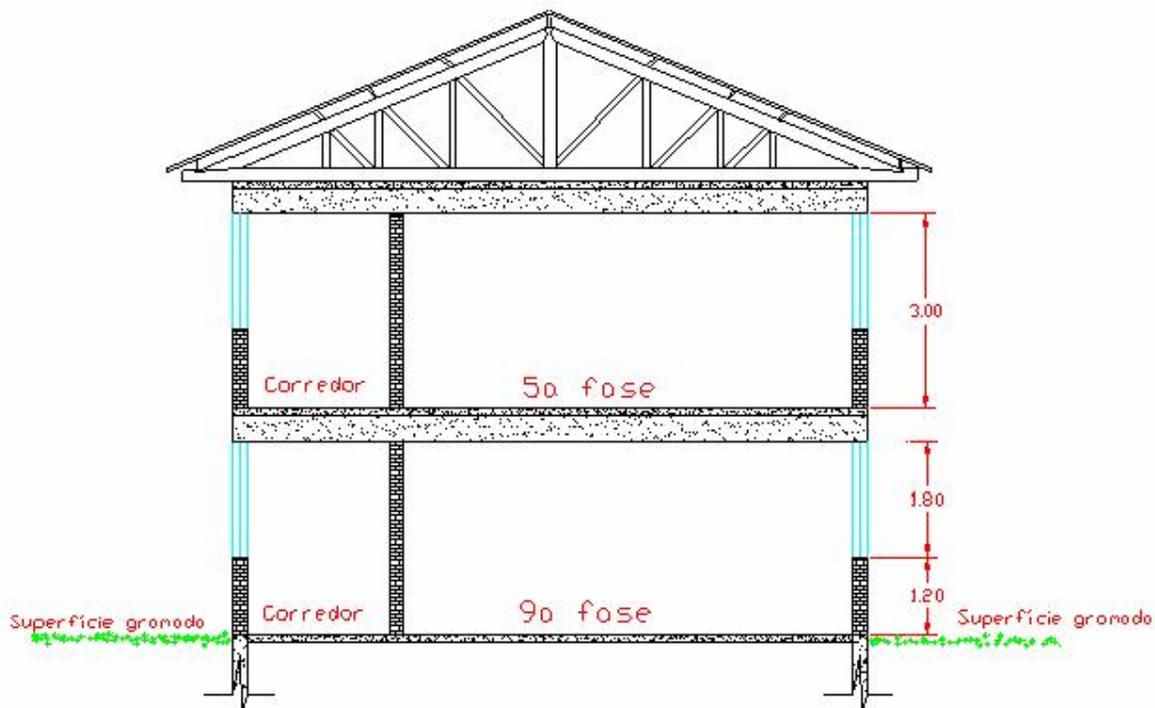


Figura 1 - Corte transversal da edificação e das salas de aula avaliadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: No final do mês de novembro, o clima da região apresentou oscilação com chuvas ocasionais e ventos frios. Com relação à temperatura efetiva (TE), estes ficaram no intervalo de conforto térmico proposto por Thom (1959) nas salas de aula. Por serem

pequenos intervalos de tempo e correspondendo a valores isolados, pode-se considerar o ambiente confortável segundo modelo proposto por Thom (1959). Os índices PMV nas salas de aula variaram entre -1,00 e +0,42, com os maiores índices incidentes na sala do piso superior. Nos dias medidos, o clima da região apresentou instável, com chuvas e ventos frios e com dias claros, o que provocou diminuição da temperatura, amenizando o clima. No meio externo, os índices PMV variaram entre -1,00 e +1,54, mostrando o poder de isolamento térmico da edificação. Verificou-se que o IBUTG apresentou aumento crescente principalmente a partir da 1ª hora, com máximos entre 11:00 e 15:00 horas, correspondendo aos horários de maior radiação solar, e ligeiro declínio a partir das 15:00 h, como mostra a figura 1.

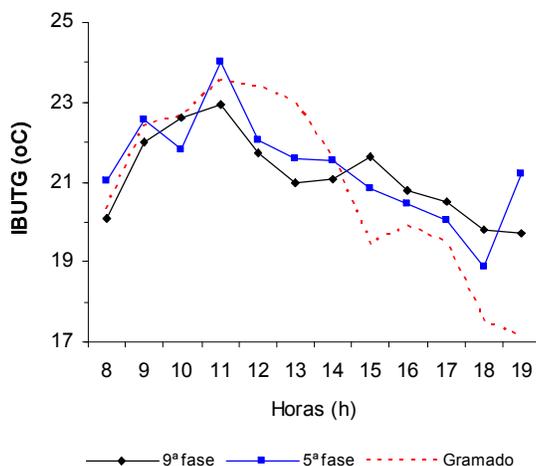


Figura 1. Variação média de IBUTG nas salas de aula e no ambiente externo.

Percebe-se que os maiores valores de IBUTG ficaram entre 20 a 25 oC e, considerando atividade leve no período mais desfavorável do ciclo do trabalho, o limite de tolerância ao calor não foi ultrapassado conforme estabelecidos pela Nr-15. Notou-se ainda que as medidas no ambiente externo responderam rapidamente as condições de mudança climática que ocorria durante o dia, que a sala no piso superior teve valores de IBUTG ligeiramente inferior a sala do piso inferior, fato este que pode estar relacionado à maior taxa de ventilação natural nesta sala.

CONCLUSÕES: Com relação à temperatura efetiva (TE), esta ficou no intervalo de conforto térmico proposto por Thom (1959). Os índices PMV apresentaram valores entre -1,00 e +0,42, situação de leve desconforto pelo frio no interior das salas e de -1,00 e +1,54 no ambiente. O IBUTG se manteve nos limites recomendados pela NR-15 para atividade leve. Em termos de conforto térmico revelados pelos índices TE, PMV e IBUTG, as salas de aula apresentaram condições de ambiente termicamente aceitáveis nos níveis climáticos prevalecentes durante o final de novembro de 2006. Outros trabalhos devem ser conduzidos para confirmar os presentes resultados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

____ Ministério do Trabalho e Emprego. Portaria 3.214 de Jul. 1978. *Normas regulamentadoras de segurança e saúde no trabalho - NR-15: Atividades e Operações Insalubres*. Brasília, 1978. [online]. Disponível em: <<http://www.mte.gov.br/temas/segau/legislacao>>. Acesso em: nov. 2001.

____ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – *NBR 6401: Instalações centrais de ar condicionado para conforto – parâmetros básicos de projeto*. Rio de Janeiro, 1980. 21p.

____ INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – *ISO 7730*: Moderate thermal environments-determination of the PMV and PMD indexes and specification of the conditions for the thermal comfort. Switzerland, 1994.

COUTO, H.A. 1987. *Temas de saúde ocupacional - coletânea dos cadernos da Ergo*. Belo Horizonte. 250p.

MINARD, D. et al. Physiological evaluation of industrial heat stress. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 32: 17-28. 1971.

SAMPAIO, C.A.P.; JÚNIOR, W.V.W; MADEIRA, F.C.; NAGAOKA, A.K. Programa computacional para determinar as propriedades da mistura ar seco-vapor d'água e atividade da água no armazenamento de grãos. In: XXXV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2006, João Pessoa-PB. *Anais...* SBEA: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2006.

THOM, E.C. The discomfort index. *Weatherwise*: 2:57-60. 1959.