

APLICATIVO PARA DETERMINAR AS PROPRIEDADES DA MISTURA AR SECO-VAPOR D'ÁGUA E OS ÍNDICES DO AMBIENTE TÉRMICO

VALTER A. BECEGATO¹; CARLOS A. DE P. SAMPAIO², CÉLIO O. CARDOSO³
WALMIR V. W. JÚNIOR⁴

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

2. Engo Agrícola, Prof. Adjunto, Depto. de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agroveterinárias, CAV/UDESC, Lages – SC.

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

4. Estudante de Agronomia. Bolsista PROBIC/UDESC. Centro de Ciências Agroveterinárias, CAV/UDESC, Lages – SC.

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

RESUMO: A determinação das propriedades psicrométricas do ar pode ser realizada pelos métodos tabular, gráfico e por meio de equações, e são trabalhosos por envolver cálculos e leituras complexas e vários dados. Os índices de conforto térmico são parâmetros que indica o grau de conforto ou desconforto de um ambiente, sendo fundamental para a construção das edificações. O objetivo deste trabalho foi desenvolver um aplicativo em ambiente Excell (PSICT) de interface simples, capaz de determinar as propriedades psicrométricas do ar e os índices de conforto térmico. Dentro dos limites exigidos pelos índices e pelas equações da termodinâmica, o aplicativo é uma ferramenta útil e apresenta resultados satisfatórios.

PALAVRAS-CHAVE: psicrometria, índices de conforto térmico, aplicativo

SOFTWARE FOR THE CALCULATION OF MOIST AIR PROPERTIES AND THERMAL COMFORT INDEXES

ABSTRACT: The determination of the psychrometric properties involves many parameters and to be able to perceive for tabular, graphic and thermodynamic equations methods. The comfort thermal indexes are parameters that denote the thermal comfort environment. The objective of this work was to develop a computer program (PSICT) for determining the psychrometric properties of air and to denote the thermal comfort or discomfort of the housings to animals, vegetables and humans, whereas presenting a simple interface that provides the professional with the necessary information. Within the limits to need for psychrometric properties and the thermal comfort index under tropical conditions, it is concluded that the software generates satisfactory results.

KEYWORDS: air psychrometric properties, thermal comfort indexes, software

INTRODUÇÃO: A determinação das propriedades da mistura ar seco-vapor d'água é uma tarefa freqüente nos processos que requerem a medição e controle das condições ambientais. Comumente, as propriedades psicrométricas do ar são obtidas a partir dos valores da temperatura de bulbo seco (T_{bs}) combinado com os valores de outro parâmetro psicrométrico do ar, que pode ser a temperatura de bulbo molhado (T_{bm}) ou a umidade

relativa (UR) (WILHELM, 1976). O conhecimento destas propriedades pode ser realizado pelos métodos tabular, gráfico e numérico. O método numérico consiste em determinar as propriedades da mistura ar seco-vapor d'água através das equações termodinâmicas, as quais são complexas envolvendo cálculos e vários dados. O ambiente térmico é uma parcela importante no trinômio animal/humano/vegetal *versus* edificação *versus* ambiente e, pelos seus valores dá-se alta produtividade e baixos consumo de energia mecânica para a correção do ambiente. Vários índices foram desenvolvidos para caracterizar ou quantificar as zonas de conforto térmico adequadas às diferentes espécies animais e humanos, apresentando em uma única variável, tanto os fatores que caracterizam o ambiente térmico que circunda o animal, como o estresse que tal ambiente possa estar causando no mesmo. O objetivo deste trabalho foi desenvolver um programa computacional em ambiente Excell, capaz de calcular as variáveis psicrométricas do ar a partir de dois parâmetros conhecidos e de calcular os índices de conforto térmico direcionados a humanos e animais.

MATERIAL E MÉTODOS: A mistura ar seco-vapor d'água é denominada de ar úmido; ou de mistura binária de ar seco e vapor d'água. A quantidade de vapor d'água presente na mistura pode variar de zero até um valor correspondente a condição de saturação. Isso corresponde à quantidade máxima de vapor d'água que o ar pode suportar em determinada condição de temperatura (PEREIRA & QUEIROZ, 1989). As equações utilizadas no programa (PSICT), citadas por WILHELM (1976) e WYLEN & SONNTAG (1976), baseiam-se nas informações validadas pela American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASRHAÉ, 1985). Algumas das equações foram modificadas adaptando-as nas unidades do Sistema Internacional. Na determinação das propriedades psicrométricas, a variável pressão parcial do vapor d'água na saturação deve fornecer resultado bastante preciso, pois é o parâmetro mais utilizado para estimar a maioria das outras propriedades psicrométricas. No programa, a equação para determinação da pressão parcial de vapor d'água na saturação foi calculada para uma faixa de temperatura de 0° a 260 °C.

$$\ln (P_{vs}) = 22105649,25 \cdot \exp \left(\frac{-27405,526 + 97,5413 \cdot T - 0,146244 \cdot T^2 + 0,12558 \cdot 10^{-3} \cdot T^3 - 0,48502 \cdot 10^{-7} \cdot T^4}{4,34903 \cdot T - 0,39381 \cdot 10^{-2} \cdot T^2} \right)$$

em que:

P_{vs} = pressão parcial do vapor d'água na saturação, Pa; e

T = temperatura, K.

Para o cálculo da razão de umidade, pressão de vapor e volume específico foram utilizadas equações baseadas nas leis dos gases perfeitos. A equação da entalpia foi obtida por análise de regressão a partir de dados tabulados, com erros mínimos de 5 kJ/kg para temperatura entre -50°C e 40°C e máximos de 6% na faixa entre 50 °C e 110°C (WILHELM, 1976).

$$h = 1,006 \cdot T + W \cdot [2501 + (1,775 \cdot T)]$$

em que:

h = entalpia específica do ar, kJ/kg de ar seco;

W = razão de umidade, kg vapor d'água/kg de ar seco.

A equação da temperatura do ponto de orvalho (T_{po}) foi obtida por: $T_{po} = c_1 (10^{-3} P_v)^{c_2} + c_3 \ln (10^{-3} P_v) + C_4$ onde: para $0,16 \leq P_v \leq 610,74 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$ ($c_1 = 82,44543$, $c_2 = 0,1164067$, $c_3 = 3,056448$, $C_4 = 196,814270$); para $610,74 \leq P_v \leq 101340 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$ ($c_1 = 33,38269$, $c_2 = 0,2226162$, $c_3 = 7,156019$, $c_4 = 246,764110$) e para $101340 \leq P_v \leq 4688500 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$ ($c_1 =$

13,85606, c2 = 0,2949901, c3 = 12,10512, c4 = 263,128720)

Os índices de conforto térmico foram desenvolvidos para caracterizar ou quantificar as zonas de conforto térmico adequadas às diferentes espécies animais e humanos, apresentando em uma única variável, tanto os fatores que caracterizam o ambiente térmico como o estresse que tal ambiente possa estar causando no mesmo. O ambiente térmico é analisado em função de índices que consideram os parâmetros ambientais de temperatura, umidade, vento e de radiação. Vários índices de estresse ambiental continuam sendo obtidos com o objetivo de se expressar o conforto do animal a dado ambiente em função dos componentes climáticos, no entanto, para alguns são consideradas outras variáveis, como a taxa metabólica, a temperatura retal, tipo de isolamento, a taxa respiratória, o volume respiratório, a temperatura de superfície corporal, o nível de atividade, o tipo de cobertura do corpo e outras características fisiológicas. O índice denominado:

$$BGHI = ITGU = Tg + 0,36Tpo + 41,5$$

onde Tgn = temperatura de globo negro (°C),

Tpo = temperatura de ponto de orvalho, (°C)

foi desenvolvido por BUFFINGTON et al (1981) e afirmam que é o índice mais preciso para se medir o conforto térmico nas regiões tropical. 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. O índice de temperatura efetiva (TE) (THOM, 1959) foi determinado pela seguinte expressão:

$$TE = 0,4 (Td + Tw) + 4,8$$

onde: Td = Temperatura de bulbo seco, (°C);

Tw = Temperatura de bulbo úmido, (°C)

O Índice Predicted Mean Vote (PMV) foi desenvolvido por Fanger em 1970 e 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, tendo os seguintes níveis: -3 (muito frio), -2 (frio), -1 (leve sensação de frio), 0 (confortável - neutralidade térmica), +1 (leve sensação de calor), +2 (quente), +3 (muito quente). O índice, denominado de PMV é dado pela seguinte expressão:

$$PMV = (0,352 \cdot e^{-0,042 \left(\frac{M}{A_{Du}}\right)} + 0,032) \{M - 0,35 [5733 - 6,99 \cdot M - \rho_a] - 0,42 [M - 58,15] - 1,7 \cdot 10^{-5} M (5867 - \rho_a) - 0,0014 \frac{M}{A_{Du}} (34 - t_a) - 3,96 \cdot 10^{-8} f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (t_{mrt} + 273)^4] - f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a)\}$$

Onde:

$A_{Du} = 0,202 \cdot m^{0,425} \cdot h^{0,725}$ (m = massa do corpo em kg; h = altura do corpo em m);

η = rendimento do trabalho mecânico externo;

M = taxa metabólica em W/m² ou kcal/h,

ρ_a = pressão de vapor d'água no ar em Pa ou *mmHg*;

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 °C;

t_{mrt} = temperatura radiante média em °C;

h_c = coeficiente de calor convectivo em $W/m^2\text{°C}$ ou $kcal/h.m^2.\text{°C}$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: A tela de apresentação e de entrada dos dados é mostrada na figura 1.

PROGRAM PSICt

Valores conhecidos ou medidos				
$T_{hs}(\text{°C})$	UR (%)	$T_{bu}(\text{°C})$	$T_{gn}(\text{°C})$	$Vto(\text{m/s})$

Figura 1. Tela de apresentação do PSICt.

A figura 2 mostra a tela de saída das propriedades psicrométricas do ar úmido.

Variáveis Psicrométricas					
$T_{hs}(\text{K})$	PV_{Tbs}	PV_{Tbs}	P_v	$T_{po}(\text{K})$	$T_{po}(\text{°C})$

Figura 2. Tela de saída das variáveis psicrométricas.

A figura 3 mostra a tela de saída dos índices de conforto térmico.

Índices de Conforto Térmico - ANIMAL								
ITGU	IBUTG	ITU	ETI	TUF	TRM (K)	CTR _(vivo)	EHT _(saatigerencia)	EHT _(p-ajustado)

Figura 3. Tela de saída dos índices de conforto térmico.

CONCLUSÕES: Dentro dos limites especificados, o aplicativo PSICt é uma ferramenta útil para se determinar as propriedades psicrométricas do ar bem como os índices de conforto térmico mais usados, pois se trata de equações complexas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

____ 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.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING AND REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS – *ASHRAE*. Handbook of Fundamentals. Atlanta. 1985.

BUFFINGTON, D.E. et al. Black globe-humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. *Transaction of the ASAE*, St. Joseph, v.24, n.3, p.711-714, 1981.

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

PEREIRA, J. A M. & QUEIROZ, D. M. *Psicrometria*. CENTREINAR: Centro Nacional de Treinamento em Armazenagem, UFV, MG. 1989. 33p.

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

WILHELM, L.R.L. Numerical calculation of psychrometric properties. *Transaction of ASAE*, v.19, n.2, p. 318-3255, 1976.

WYLEN, G.J.V. & SONNTAG, R.E. *Fundamentos da termodinâmica clássica*. 2ed. Ed. Edgard Blucher Ltda. São Paulo, SP. 1976. 565p.