

## PSIC<sub>T</sub>: SOFTWARE PARA DETERMINAR AS VARIÁVEIS PSICROMÉTRICAS E ÍNDICES TÉRMICOS

CARLOS AUGUSTO DE PAIVA SAMPAIO<sup>1</sup>, RODRIGO FIGUEIREDO TEREZO<sup>2</sup>,  
GIULIANI DO PRADO<sup>3</sup>, DAICON GODESKI MOREIRA<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Engenheiro Agrícola. Professor Associado do Departamento de Agronomia/CAV-UDESC – [carlos.sampaio@udesc.br](mailto:carlos.sampaio@udesc.br)

<sup>2</sup>Engenheiro Civil. Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Florestal/CAV-UDESC. [rodrigo.terezo@udesc.br](mailto:rodrigo.terezo@udesc.br)

<sup>3</sup>Agrônomo. Professor adjunto da Universidade Estadual de Maringá, Cidade Gaúcha/PR. [giulianidoprado@hotmail.com](mailto:giulianidoprado@hotmail.com)

<sup>4</sup>Discente de Agronomia. Bolsista do CAV/UDESC. [daicon\\_moreira@hotmail.com](mailto:daicon_moreira@hotmail.com)

Apresentado no  
XLV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2016  
24 a 28 de julho de 2016 - Florianópolis - SC, Brasil

**RESUMO:** O conhecimento e a determinação das propriedades psicrométricas do ar envolvem equações complexas, entretanto são fundamentais no armazenamento de grãos. O conhecimento dos índices térmicos é fundamental para tomada de decisões quanto ao microclima de um ambiente. O objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento em um único software denominado de PSIC<sub>T</sub>, as condições para a determinação das variáveis psicrométricas e dos índices de conforto e de sobrecarga térmica, dentro dos limites da temperatura do ar ambiente. Com as variáveis de entrada temperaturas de globo negro, de bulbo úmido e bulbo seco e velocidade do vento, o programa possui interface simples e confiabilidade no retorno das variáveis de interesse.

**PALAVRAS-CHAVE:** microclima, psicrometria, índices térmicos

### PSIC<sub>T</sub>: SOFTWARE FOR CALCULATION OF THE VARIABLES PSYCHROMETRICS AND THERMAL INDEXES

**ABSTRACT:** The knowledge and the determination of the psychrometric properties of the air involves complex equations, however are important in the grain storage. The knowledge of thermal indexes is important for making decisions about the microclimate of environmental conditions. The objective of this work was the development in single software called PSIC<sub>T</sub>, the conditions for determining the variables psychrometric and comfort indexes and thermal overload, within the limits of the ambient air temperature. With the input variables black globe temperature, wet bulb and dry and wind velocity, the program has simple interface and reliability in the return of the variables of interest.

**KEYWORDS:** microclimate, psychrometric, thermal indexes

### INTRODUÇÃO

As variáveis psicrométricas são importantes para o conhecimento do microclima local e para avaliações térmicas do ambiente. As propriedades psicrométricas do ar são obtidas a partir da temperatura de bulbo seco ( $T_{bs}$ ) combinado com outro parâmetro psicrométrico do ar, geralmente temperatura de bulbo molhado ( $T_{bm}$ ) ou a umidade relativa (UR) (WILHELM, 1976) e envolve cálculos complexos. Dentre as equações da termodinâmica, a entalpia é importante por ser considerada na comparação do ambiente para produção animal. PERISSINOTTO et al. (2005) citam que para temperatura de bulbo seco de 24,0 °C e

umidade relativa de 38%, consideradas ideais com as vacas leiteiras apresentando produção normal, chega-se ao valor da entalpia ideal para bovinos leiteiros de  $72 \text{ kJ kg}^{-1}$  de ar seco. Existem diversos índices que correlacionam as variáveis que influem nas trocas térmicas entre o ambiente e o ocupante e que permitem quantificar a severidade de exposição ao calor, denominados de índices de conforto térmico e de sobrecarga térmica (SALIBA, 2002). Vários softwares foram desenvolvidos para calcular as variáveis psicrométricas como o GRAPSI (MELO et al., 2004) e do ambiente térmico como o SisPAG-Agro (SEVERO et al., 2003), entretanto são aplicativos pontuais. O objetivo deste trabalho foi relacionar as variáveis psicrométricas e os índices de conforto térmico e de sobrecarga térmica num único aplicativo.

## MATERIAL E MÉTODOS

O PSICt (*versão 1.0*) foi desenvolvido utilizando o ambiente Visual Basic. As equações usadas no cálculo das variáveis psicrométricas são citadas por WILHELM (1976) e baseiam-se nas informações validadas pela American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers. Dentre as variáveis psicrométricas, a pressão parcial do vapor d'água na saturação deve fornecer resultado bastante preciso, pois é o parâmetro utilizado para estimar a maioria das outras propriedades psicrométricas. A equação para determinação da pressão parcial de vapor d'água na saturação foi calculada para uma faixa de temperatura de  $0^\circ$  a  $260^\circ \text{C}$ .

$$\ln(P_{vs}) = 22105649,25 \cdot \exp \left( \frac{-27405,526 + 97,5413 \cdot T - 0,146244 \cdot T^2 + 0,12558 \cdot 10^{-3} \cdot T^3 - 0,48502 \cdot 10^{-7} \cdot T^4}{4,34903 \cdot T - 0,39381 \cdot 10^{-2} \cdot T^2} \right) \quad (\text{eq.1})$$

em que:

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

$T$  = temperatura, K.

A equação da entalpia foi obtida por análise de regressão a partir de dados tabulados, com erros mínimos de  $5,0 \text{ kJ/kg}$  para temperatura entre  $-50^\circ \text{C}$  e  $40^\circ \text{C}$  e máximos de 6% na faixa entre  $50^\circ \text{C}$  e  $110^\circ \text{C}$  (WILHELM, 1976).

$$h = 1,006 \cdot T + W \cdot [2501 + (1,775 \cdot T)] \quad (\text{eq.2})$$

em que:

$h$  = entalpia específica do ar,  $\text{kJ/kg}$  de ar seco;

$W$  = razão de umidade,  $\text{kg}$  vapor d'água/ $\text{kg}$  de ar seco.

Para o ambiente térmico foi considerado os principais índices usados em trabalhos de ambiência:

- *ITGU* (índice de umidade e temperatura de globo: BUFFINGTON et al., 1981);
  - *ITU* (índice de temperatura e umidade: THOM, 1958);
  - *CTR* (carga térmica de radiação: ESMAY, 1982);
  - *TE* (índice de temperatura efetiva: THOM, 1959);
  - *ENT* (entalpia);
  - Índice de sobrecarga térmica: *IBUTG1*, *IBUTG2* (MINARD et al., 1971);
  - Índice de sensação térmica: *ITBV* (índice de temperatura baixo do vento: ROSENBERG et al., 1983).
- A NR-15 estipula que não é permitido trabalho sem a adoção de medidas adequadas de controle para *IBUTG* acima de  $32,2^\circ \text{C}$  considerando atividade leve; acima de  $31,1^\circ \text{C}$  para atividade moderada e acima de  $30,0^\circ \text{C}$  para atividade pesada (trabalho intermitente de levantar, empurrar ou arrastar pesos), medido no período mais desfavorável do ciclo do trabalho. Com relação ao *ITBV*, o ar a  $0^\circ \text{C}$  e vento de  $3,0 \text{ m/s}$ , o efeito conjunto desses dois fatores climáticos é sentido como se a temperatura do ar fosse de  $-4^\circ \text{C}$ .

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O programa é constituído por uma tela de apresentação e telas de entrada de dados e de cálculos das variáveis psicrométricas e dos índices térmicos. A tela de apresentação do programa é mostrada na figura 1.



FIGURA 1. Tela de apresentação do PSICt.

A tela de apresentação do PSICt mostra edificações de armazenamento formados por silos e armazém a granel, mostra o gráfico psicrométrico com a região de conforto térmico e mostra ainda uma edificação para aves onde os conceitos de ambiência são fundamentais para tomadas de decisões visando aumento de produtividade. Vários pontos de estados e de índices térmicos foram calculados e processos foram simulados pelo programa PSICt. Os dados obtidos para pressão de vapor de saturação, pressão de vapor atual, temperatura de ponto de orvalho, entalpia e índices térmicos foram comparados com alguns valores tabelados (CARRIER, 1999; PEREIRA & QUEIROZ, 1989; PERISSINOTTO *et al.*, 2005) e apresentaram alta correlação ( $R^2$ ). Ao se clicar em calcular na tela de apresentação, vai aparecer a janela de diálogo, como mostra a figura 2.



FIGURA 2. Tela com a janela: variáveis psicrométricas, índices de conforto térmico, sair.

Ao se clicar em variáveis psicrométricas vai aparecer a janela de diálogo, como mostra a figura 3, com dados de entrada e dados de saída.

**Variáveis Psicrométricas**

**Dados de Entrada**

Temperatura do Bulbo Seco - Tbs	Temperatura do Bulbo Seco - Tbs	Umidade Relativa do ar - UR
20 °C	293.16 K	80 %

**Dados de Saída**

Pressão de Vapor de Saturação - Pvs	Pressão de Vapor - Pv	Temperatura de ponto de orvalho - Tpo
2338.0 Pa	1870.4 Pa	16.5 °C
2.338 kPa	1.870 kPa	289.6 K

FIGURA 3. Tela de entrada de dados e de cálculo das variáveis psicrométricas.

Ao se clicar em índice de conforto térmico, vão aparecer as opções índice de conforto térmico animal e índice de conforto térmico humano, como mostram as figuras 4 e 5. Como na tela anterior, faz necessário digitar os seguintes dados de entrada  $T_{bs}$ ,  $T_{bu}$ ,  $T_{gn}$ , UR,  $V_{vento}$ .

**Índice de Conforto Térmico Animal**

**Dados de Entrada**

Temperatura do Bulbo Seco - Tbs	Temperatura do Bulbo Úmido - Tbu	Temperatura do Globo Negro - Tgn
20 °C	18 °C	23 °C
Umidade Relativa do ar - UR	Velocidade do Vento - V	
80 %	2.0 m/s	

**Dados de Saída**

Índice de Umidade e Temperatura de Globo - ITGU	Índice de Temperatura de Globo - IBUTG	Índice de Temperatura e Umidade - ITU	Índice de Temperatura Equivalente - ETI
70.4	19.2 °C	67.9	20.9 °C
Índice de Bulbo Úmido e Bulbo Seco - TUF	Temperatura Média Radiante - TRM	Carga Térmica de Radiação - CTR	Entalpia - ENT
65.2	305.9 K	496.6 W/m²	16.1 kcal/kgarseco

FIGURA 4. Tela de entrada de dados e de cálculo dos índices de conforto térmico para animal.

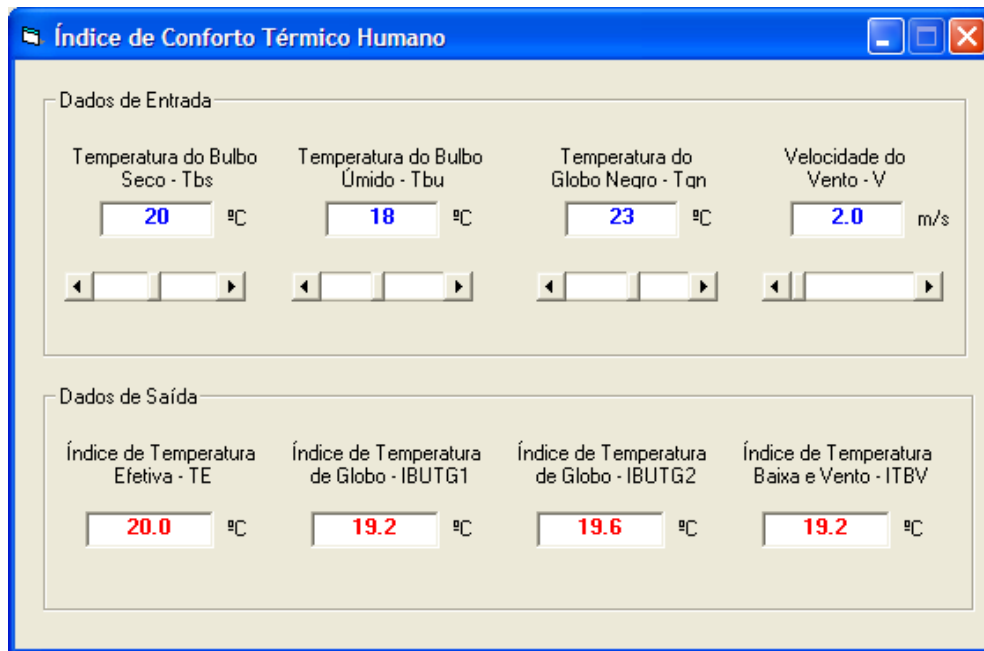


FIGURA 5. Tela de entrada de dados e de cálculo dos índices de conforto térmico humano.

A tela de encerramento é mostrada na figura 6.

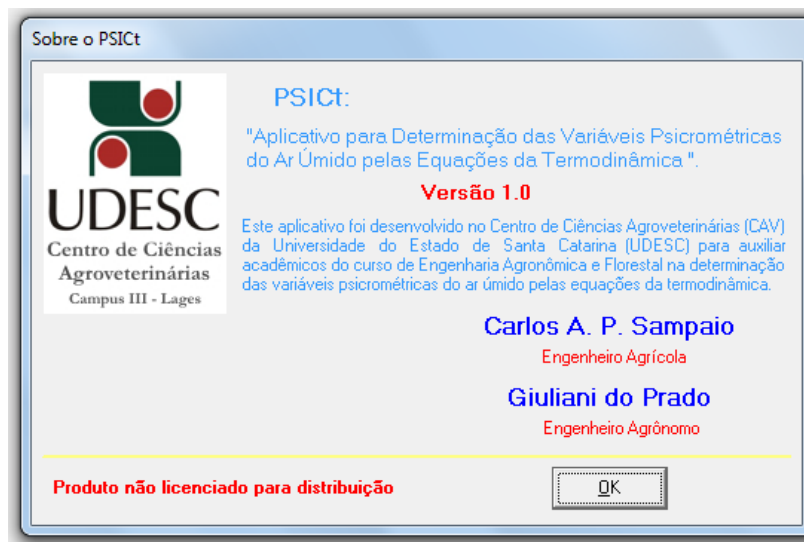


FIGURA 6. Tela de finalização do programa PSICt.

## CONCLUSÕES

Com o aplicativo PSICt pode-se obter as variáveis psicrométricas e os índices térmicos de interesse na ambiência usados em edificações para produção humana, animal e vegetal, diminuindo erros de cálculos e tempo, pois se trata de equações complexas. A primeira versão do aplicativo é restrita às exigências dos índices de conforto térmico e das equações da termodinâmica, com posterior melhoria na versão 2.0.

## REFERÊNCIAS

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.

CARRIER. *Fundamentals of psychrometrics - Technical Development Programme*. Netherlands, 1999. 58p.

ESMAY, M.L. *Principles of animal environment*. Westport, Avi Publishing Company Inc, 1982. 325p.

MELO, E.C.; LOPES, D.C.; CORRÊA, P.C. GRAPSI: programa omputacional para o cálculo das propriedades psicrométricas do ar. *Engenharia na Agricultura*, Viçosa, MG, v.12, n.2, 154-154 162, Abr./Jun., 2004.

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

\_\_\_\_ Ministério do Trabalho e Emprego. Portaria 3.214 de Jul. 1978. NR-15: Atividades e Operações Insalubres. Brasília, 1978. [on-line]. Disponível em: <<http://www.mte.gov.br/temas/segsau/legislacao/normas/>>. Acesso em: nov. 2015.

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

PERISSINOTTO, M. et al. Influência do ambiente no consumo de água de bebida de vacas leiteiras. *Revista Brasileira de Engenharia Agríc. e Ambiental*, v.9, n.2, p.289-294, 2005.

ROSENBERG, N.J.; BLAD, B.L.; VERMA, S.B. *Microclimate: the biological environment*. New York, Wiley-Interscience Publication, 1983. 495p.

SALIBA, T.M., CORRÊA, M.A.C., AMARAL, L.S. *Higiene do trabalho e PPRA*. São Paulo: Ed. LTR, 3 ed. 2002. 259p.

SEVERO, J.C.A. et al. Desenvolvimento de um software para predição do ambiente térmico no interior de galpões agropecuários. *Revista Brasileira de Agroinform.*, v.5, n.2, p.59-72, 2003.

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

THOM, E.C. Cooling degrees - days air conditioning, heating, and ventilating. *Transactions of the ASAE*, v.55, n.7, p.65-72, 1958.

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