

# ESTUDO DE GLOBOTERMÔMETROS

Aparecido Seigim TOKUMOTO<sup>1</sup>, Jesus Marden dos SANTOS<sup>2</sup>, Charles Jefferson de MIRANDA<sup>3</sup>

## RESUMO

São analisados o comportamento de dois tipos de globotermômetros e a troca de calor em regime transitório quando instalados a pleno sol e sob sombra. Conclui-se que o globotermômetro utilizando-se bolas de pingue-pongue apresenta um melhor comportamento que o globotermômetro de alumínio.

## INTRODUÇÃO

O Globotermômetro usado em experimentos zootécnicos e citado na bibliografia, é um sensor para determinação da carga térmica radiante sobre animais ou humanos, expostos em condições de ambiente a pleno sol ou sob sombra.

Este trabalho analisa dados experimentais a partir de um modelo teórico de transferência de calor em esferas com regime transitório nos processos de aquecimento e resfriamento e compara a resposta dos modelos e dos sensores.

A sensação de conforto é uma componente significativa nos estudos de ambiência e depende das trocas de calor entre o animal e o meio que o circunda. Para uma avaliação quantitativa desta interação são usados índices de conforto térmico.

Existem índices que consideram o estresse de calor como uma combinação de elementos do clima: temperatura do ar, umidade do ar, radiação solar e velocidade do vento.

Este estudo procurou estabelecer a relação entre variáveis climáticas e a temperatura do globotermômetro. Comparando-se os valores experimentais com o comportamento analítico previsto no modelo teórico observa-se que o valor do fluxo de radiação solar interfere na temperatura de equilíbrio do globotermômetro, mantendo-se em valores mais elevados nos picos de radiação próximos do meio dia e menos elevados em outros horários. Observa-se, ainda, a influência da velocidade do vento na diminuição do tempo de resposta dos sensores. Analisando os resultados obtidos pela leitura simultânea dos dois modelos de globotermômetros em comparação com suas massas, conclui-se que existe o predomínio da capacidade térmica no globo de alumínio e da resistência térmica no globotermômetro de bola de pingue-pongue.

O modelo teórico mostrou-se adequado para a finalidade deste estudo.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estado de conforto de um indivíduo depende em grande parte dos efeitos combinados da radiação solar, da convecção e da advecção.

Neste estudo utilizou-se dois modelos de globotermômetros: um feito com chapa de alumínio 22SWG, 54mm de diâmetro e 35g e outro uma bola de pingue-pongue, 37mm de diâmetro e 3g. As duas esferas foram pintadas de preto fosco e no interior de cada uma foi introduzido um sensor de temperatura AD590, com coeficiente nominal de temperatura  $1 \mu A/K$ .

Para medidas de radiação solar, velocidade do vento e temperatura do ar foram utilizados respectivamente Radiômetro Eppley Modelo PSP, anemômetro de canecas e termopar, e a coleta de dados foi efetuada utilizando-se um datalogger 21X da Campbell Scientific Inc.

Para a análise das trocas de calor em regime transitório foi considerado que a resistência interna do corpo era desprezível em relação à resistência do meio que o circundava. Respeitada esta condição considerou-se um corpo esférico pintado de preto fosco a uma temperatura  $T$  em equilíbrio térmico com o ar a uma temperatura  $T_a$ .

$$T = T_a$$

<sup>1</sup> Bolsista RHAEC/CNPq - INPE.

<sup>2</sup> Pesquisador - INPE.

<sup>3</sup> Bolsista - UNIVAP.

Expostos a pleno sol o balanço de energia é dado por:

$$dE/dt = \alpha_s \cdot (1/2) \cdot (K_d + K_D) - \epsilon \sigma (T^4 - T_a^4) - hc(T - T_a) \quad (1)$$

$hc = (k/D) \cdot (2 + 0,6Pr^{1/3} Re^{1/2})$ , sendo  $hc$  o coeficiente de trocas convectivas.

A expressão da emissão térmica pode ser simplificada de modo a se obter um coeficiente de trocas radiativas, assim:

$$\epsilon \sigma (T^4 - T_a^4) \cong 4\epsilon \sigma T_a^3 (T - T_a) = hr(T - T_a)$$

sendo  $hr$  o coeficiente de trocas radiativas.

Assim, a equação (1) pode ser escrita da seguinte forma:

$$dE/dt = A \cdot [\alpha_s \cdot (1/2) \cdot (K_d + K_D) - (hr + hc) \cdot (T - T_a)]. \quad (2)$$

Observa-se que o equilíbrio ocorre quando  $d/dt = 0$ .

Como  $dE/dt = m \cdot C_p \cdot dT/dt$ , tem-se que:

$$dT/dt = (A/m \cdot C_p) \cdot [(1/2) \cdot \alpha_s (K_d + K_D) - (hr + hc) \cdot (T - T_a)]. \quad (3)$$

Fazendo:

$$(1/2) \cdot (A \cdot \alpha_s / m \cdot C_p) \cdot (K_d + K_D) = a \\ (A/m \cdot C_p) \cdot (hr + hc) = b$$

a equação (3) pode ser escrita:

$$dT/dt = a - b \cdot (T - T_a) \quad (4)$$

$$dT/[a - b \cdot (T - T_a)] = dt \quad (5)$$

Integrando-se a equação (5) tem-se:

$$T = T_a + a/b - [a/b - (T_0 - T_a)] \cdot e^{-bt}. \quad (6)$$

Em regime permanente,

$$T_e = T_a + a/b \quad (7)$$

onde  $T_e$  é a temperatura de equilíbrio a pleno sol.

O resfriamento ocorre bloqueando-se o fluxo de radiação direta. Desta forma o balanço de energia é determinado pela relação:

$$dE/dt = A \cdot [\alpha_s \cdot (1/2) \cdot K_d - (hr + hc) \cdot (T - T_a)] \quad (8)$$

$$dT'/dt = (A/mC_p) \cdot [\alpha_s \cdot (1/2) \cdot K_d - (hr + hc) \cdot (T - T_a)] \quad (9)$$

com:

$$(1/2) \cdot (A \cdot \alpha_s / mC_p) \cdot K_d = a'$$

$$(A/mC_p) \cdot (hr + hc) = b$$

$$dT'/dt = a' - b(T' - T_a) \quad (10)$$

$$dT'/[a' - b(T' - T_a)] = dt \quad (11)$$

Integrando-se a equação 11 tem-se

$$T' = (T_a + a'/b) + (T_0' - T_a - a'/b) \cdot e^{-bt} \quad (12)$$

Fazendo:

$$T_0' = T_e \quad (13)$$

temos:

$$T' = (T_a + a'/b) + [(T_e - a'/b) \cdot e^{-bt}]. \quad (14)$$

Em regime permanente,

$$T' = T_0' = T_a + a'/b \quad (15)$$

$$T = T_a + (a/b) \cdot \{1 - [(T_e - a'/b) \cdot e^{-bt}]\} \quad (16)$$

A constante de tempo  $b$  depende da capacidade do globotermômetro em trocar calor com o meio.

Estas equações possuem analogia com o funcionamento de um circuito RC em regime transitório:

1) Carga do capacitor

$$U = U_\infty + (U_0 - U_\infty) \cdot (1 - e^{-t/RC}) \quad (17)$$

2) Descarga do capacitor

$$U' = U_\infty + (U_0' - U_\infty) \cdot e^{-t/RC} \quad (18)$$

Por comparação conclui-se que:

$$b = 1/(Rth \cdot C_p)$$

De posse das expressões que governam o comportamento do globotermômetro em regime transitório pode-se caracterizar o seu tempo de resposta.

Introduzindo esta definição nas equações 6 e 16 obtém-se:

$$t = (-1/b) \cdot \ln(0,37) \quad (19)$$

que é o tempo de resposta.

O delineamento experimental foi executado da seguinte forma: instalou-se o conjunto formado pelos globotermômetros, radiômetro e anemômetro a pleno sol e o termopar foi instalado em um abrigo meteorológico. Os globotermômetros foram sombreados e iluminados em intervalos de 10 minutos.

## RESULTADOS

Dados coletados no período compreendido entre 11:00h e 11:30h: pela análise gráfica observou-se que as temperaturas de equilíbrio a pleno sol e à sombra dos dois modelos não apresentam diferenças significativas, o tempo de resposta mostra uma pequena diferença (1,75min para o globo de alumínio e 2,25min para o globo de bola de pingue-pongue).

Dados coletados no período compreendido entre 14:40h e 15:10h: observa-se que a temperatura de equilíbrio a pleno sol do globotermômetro de bola de pingue-pongue permanece ligeiramente mais alto que a de alumínio e tende a se igualar no equilíbrio à sombra. O tempo de resposta não apresenta diferença (1,25min).

## CONCLUSÃO

Os modelos se comportam de maneira semelhante tanto em equilíbrio térmico com o ambiente quanto em regime transitório. Analisando-se os gráficos observa-se que existe uma tendência de aumento das temperaturas de equilíbrio nos horários próximos ao meio dia e diminuição nos horários mais distantes, indicando a influência dos valores do fluxo de radiação solar incidentes nos instantes correspondentes, o tempo de resposta também tende a diminuir no período onde a velocidade do vento é maior.

## BIBLIOGRAFIA

- ANALOG DEVICES INC. - Transducer Interfacing Handbook - A guide to Analog Signal Conditioning - Norwood - Massachussets - 1981.
- BARBOSA, O.R. - Utilização do Índice de Conforto Térmico em Zoneamento Bioclimático da Ovinocultura, FCAV - UNESP, 1994. Dissertação (tese de Doutorado, pp. 17-20).
- CAMPBELL SCIENTIFIC, INC. 21X Micrologger Operator's Manual - Logan - UT - 980.
- FRITSCHEN, L.Y. and GAY, L. W. - Environmental Instrumentation - Oak Ridge - Tennessee - 1979.
- HOLMAN, J.P. - Transferência de Calor - Trad. Luiz Fernando Milanez - MacGraw-Hill - São Paulo - 1983.
- OZISIK, M.N. - Heat Transfer a Basic Approach - MacGraw-Hill - 1985.
- SPIEGEL, M.R. - Manual de Fórmulas e Tabelas Matemáticas - Trad. Roberto Chioccarello - MacGraw-Hill - São Paulo. 1973.