

INÉRCIA TÉRMICA E HISTERESE DE GLOBOS-TERMÔMETROS

CARLOS AUGUSTO DE PAIVA SAMPAIO¹, RODRIGO FIGUEIREDO TEREZO²,
LEONARDO DE BRITO ANDRADE³, LUIZA KASCHNY BORGES⁴

¹Engenheiro Agrícola. Professor Associado do Departamento de Agronomia/CAV-UDESC – carlos.sampaio@udesc.br

²Engenheiro Civil. Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Florestal/CAV-UDESC. rodrigo.terezo@udesc.br

³Engenheiro Civil. Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Rural/CCA - UFSC. leonardo.andrade@ufsc.br

⁴Discente de Engenharia Ambiental. Bolsista do CAV/UDESC. luizakb@gmail.com

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

RESUMO: Objetivou-se este trabalho avaliar os globos negros dos seguintes materiais: esfera oca de cobre com 160 mm de diâmetro e 0,5 mm de espessura (globo negro padrão); esfera oca de plástico com 69,20 mm de diâmetro e 0,5 mm de espessura (globo negro alternativo de plástico) e globo negro de instrumento digital com 75,00 mm de diâmetro (globo negro digital) quanto a histerese e inercia térmica, utilizando condições controladas de temperatura e vento em túnel, possibilitando a análise pelo aquecimento e resfriamento. O globo negro é um receptor que quantifica os componentes da energia radiante do ambiente, sendo um parâmetro para a modificação do microclima. Os resultados mostraram que a inércia térmica e a histerese dependem do tipo de material e do diâmetro do globo e foram de 15 e 38 minutos, respectivamente, para o globo padrão, comportamentos semelhantes foram observados para os outros globos-termômetros, entretanto com valores menores. Conclui-se que os globo-termômetros avaliados são opção para substituição do globo padrão, desde que conhecidos sua inércia térmica e histerese e conseqüentemente, os tempos mínimos que as temperaturas não devem variar consideravelmente.

PALAVRAS-CHAVE: globo-termômetro, inércia térmica, histerese

THERMAL INERTIA AND HYSTERESIS OF GLOBE-THERMOMETERS

ABSTRACT: The objective of this work to evaluate black globes of the following materials: hollow sphere with 160 mm in diameter and 0.5 mm thick (black globe pattern); plastic hollow sphere with 69.20 mm in diameter and 0.5 mm thick (black plastic alternative globe) and black globe digital instrument with 75.00 mm in diameter (black digital globe) as hysteresis and thermal inertia, using controlled conditions of temperature and wind tunnel, allowing analysis by heating and cooling. The black globe is a receiver that quantifies the components of the radiant energy of the environment, being a parameter for the modification of the microclimate. The results showed that the thermal inertia and hysteresis depend on the type of material and the diameter of the globe and to the globe pattern were of 15 and 38 minutes, respectively. Similar physical behavior was observed for the other globe thermometer, however with smaller values. It is concluded that the globes-thermometers evaluated can override the globe pattern, since known its thermal inertia and hysteresis and therefore minimum times that temperatures should not vary considerably.

KEYWORDS: globe-thermometer, thermal inertia, hysteresis

INTRODUÇÃO

O globo negro é um receptor da energia radiante do ambiente que quantifica os efeitos combinados da energia radiante, temperatura e velocidade do ar na variável denominada de Temperatura de Globo Negro – TGN, de utilização em grande escala na avaliação de ambiência de edificações. O globo negro padrão, denominado de Globo VERNON, consiste de uma esfera metálica de cobre, oca, com diâmetro interno de 6" (0,15m), espessura variável (em torno de 0,5mm) e pintado de preto-fosco para que haja máximo de absorvância na faixa do infravermelho. A TGN é obtida por um termômetro inserido no globo, posicionado no centro da esfera cuja indicação é uma manifestação do balanço térmico que ocorre na esfera, entre o calor ganho (ou perdido) por radiação e o calor perdido (ou ganho) por convecção. Seu uso data dos anos 30 por trabalho realizado por BEDFORD & WARNER (1934) sobre aquecimento e ventilação em habitações. A temperatura radiante média (T_{rdmed}) é obtida através das medições das temperaturas de globo, expresso na Eq.1 (ISO 7726/1996).

$$T_{rdmed} = \sqrt[4]{\frac{T_g^4 + h_{cg} \cdot (T_g - T_a)}{\varepsilon_g \cdot \sigma}} \quad (\text{Eq. 1})$$

onde: T_{rdmed} = Temperatura radiante média (K); T_g = Temperatura de globo (K); T_a = Temperatura do ar (K); h_{cg} = coeficiente de transferência de calor por convecção ao nível do globo, em $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$; ε_g = emissividade do globo negro (adimensional); σ = constante de Stefan-Boltzman ($5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$).

PEREIRA et al. (1967) usando bolas de pingue-pongue para substituição do globo negro padrão, encontraram um tempo de resposta menor do que este, ou seja, 4,5 e 9,0min para uma velocidade do ar de 2,03 e 17,0m/s e de 22min para uma velocidade do ar de 0,15m/s, respectivamente. Concluíram que o curto tempo de resposta do termômetro de globo pequeno é uma desvantagem em muitas circunstâncias, entretanto em ambiente relativamente constante isto não representa problema. SOUZA et al. (2002) avaliaram cinco materiais alternativos comparando com o globo negro de 13,5cm de diâmetro considerado testemunha e concluíram que os globos feitos de PVC com 15 e 11,5cm de diâmetro representam opções satisfatórias para substituição do globo de cobre padrão, ao avaliarem os índices de Temperatura de Globo e Umidade (ITGU) e Carga Térmica de Radiação (CTR). NAVARINI et al. (2007) avaliaram o uso de globos de polietileno para confecção de globos negros para a obtenção de índices CTR e ITGU, os quais possuíam diâmetros de 4, 5, 7,5 e 15cm, com superfície externa e interna pintada de preto fosca. Foi usado como referência o globo negro padrão. Concluíram que os globos alternativos podem substituir o globo padrão na obtenção dos índices de conforto ITGU e CTR. OMAR et al. (2010) avaliaram três tipos de globos negros de plástico, dois de 9cm e um de 12 cm com diferentes tipos de sensores, confrontando-se com o globo negro padrão, na substituição desse último na obtenção da temperatura de globo negro. Concluíram que os globos alternativos são uma alternativa válida para a substituição do globo de cobre padrão em ambientes internos, uma vez que os resultados alcançados são altamente satisfatórios. Constata-se que maioria dos trabalhos realizados com globos negros avalia sua condição para indicar os índices térmicos (Ibutg, Itgu, Itu, Ctr, T_{rdmed} , etc.), pois são índices com utilização em grande escala em trabalhos de ambiência, não mencionando, entretanto, o tempo de resposta desses instrumentos. Objetivou-se este trabalho conduzir uma metodologia e avaliar os globos negros dos seguintes materiais: esfera oca de cobre (globo VERNON) usado como padrão; esfera oca de plástico (globo negro alternativo de plástico) e globo negro de instrumento digital quanto à histerese e inércia térmica, utilizando condições controladas de temperatura e vento em túnel, possibilitando a análise pelo aquecimento e resfriamento.

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado no Laboratório de Ambiência do Centro de Ciências Agroveterinárias - CAV/UEDESC, campus de Lages/SC. As coordenadas geográficas do local são: 27°49' de latitude sul, 50°20' de longitude oeste e altitude média de 940 m. O clima predominante da região, de acordo com KÖPPEN é Cfb (mesotérmico constantemente úmido com verão brando), com períodos chuvosos principalmente no verão. Foram avaliados os globos negros dos seguintes materiais: esfera oca de cobre com 150 mm de diâmetro e 0,5 mm de espessura (globo VERNON) considerado globo negro padrão; esfera oca de plástico com 69,20 mm de diâmetro e 0,5 mm de espessura (globo negro alternativo de plástico) e globo negro com 75,00 mm de diâmetro usado em instrumento digital. Um túnel de vento nas dimensões de 40 cm de largura x 40 cm de altura x 200 cm de comprimento foi construído com o intuito de produzir um fluxo de ar estável e constante. Os globos negros foram colocados no interior do túnel e submetidos a condições controladas de temperatura e vento, possibilitando a análise da inércia térmica e da histerese pelo aquecimento e resfriamento dos mesmos. As variáveis coletadas foram a temperatura do ar (T_{bs}), a velocidade do ar (V_v) e a temperatura de globo negro com a inserção de um termômetro de mercúrio até o centro dos globos. As duas primeiras variáveis foi obtida com termômetro de mercúrio e anemômetro digital. Para a determinação da *inércia térmica e da histerese*, foram realizadas leituras de aquecimento e resfriamento dos sensores globos negros, em intervalos de um minuto, num tempo máximo de 40 minutos, usando duas velocidades de vento de 1,25 m/s e 1,75 m/s produzidas por ventilador. Foram realizadas três repetições, mantendo a temperatura da fonte constante no aquecimento e desligando a fonte no resfriamento dos sensores.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A figura 1 mostra os gráficos resultantes do aquecimento e do resfriamento dos globos negros avaliados.

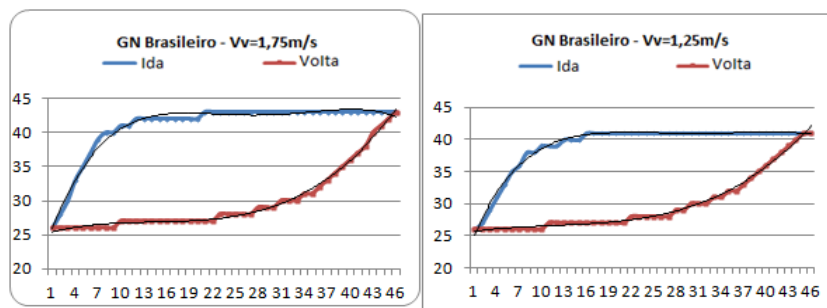


Gráfico 1: Valores de temperatura versus tempo do globo negro Brasileiro

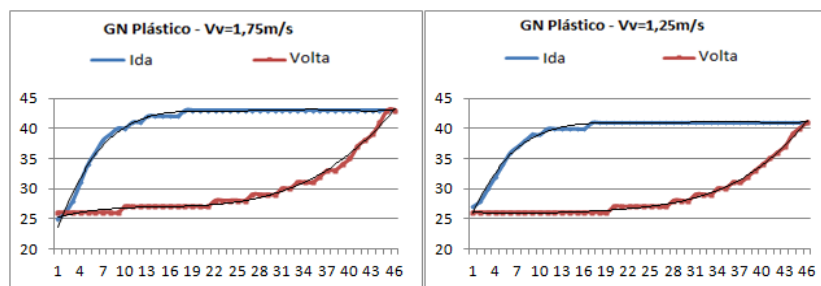


Gráfico 2: Valores de temperatura versus tempo do globo negro de Plástico

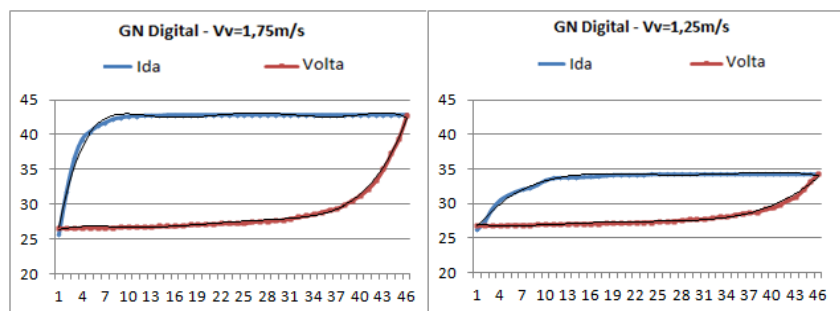


FIGURA 1. Histerese e inércia térmica dos sensores de globos negros.

O termo *ida* refere-se ao tempo em que os sensores tiveram comportamento de aquecimento em função do sistema, alcançando a temperatura máxima e o termo *volta*, refere-se ao tempo em que os sensores retornam à temperatura inicial, sendo que para as três repetições para cada velocidade de vento, as mesmas temperaturas foram atingidas no aquecimento e no resfriamento. Pode-se notar que o GN padrão e o GN plástico levaram em média *15min* e *13min*, respectivamente, para responder ao aquecimento, enquanto que o GN digital levou aproximadamente *8min*, ou seja, detectando a mesma temperatura mais rapidamente. Resultados semelhantes foram obtidos por SOUZA et al. (2002). Com relação à histerese, o GN padrão e o GN plástico levaram em média *38min* e *33min*, respectivamente, para retornar as condições iniciais, isso pode ser devido ao material e aos diâmetros dos globos. Para o GN do instrumento digital foi de aproximadamente *25min*.

CONCLUSÕES

O sensor de globo negro de cobre (GN padrão) apresentou inércia térmica e histerese de *15* e *38 minutos*, respectivamente, superiores ao GN plástico e do globo negro do instrumento digital. O tempo mínimo em que as temperaturas não devem variar consideravelmente é de *38 minutos*, considerando o globo padrão. Pode usar outros materiais como sensor de temperatura de globo negro, desde que se conheça a inércia e a histerese desses instrumentos.

REFERÊNCIAS

BEDFORD, T.; WARNER, C. The globe thermometer in studies of heating and ventilation. *Journal of Hygiene*, v.34, n.3, p.458-473, Mar. 1934.

PEREIRA, N.; BOND, T.E.; MORRISON, S.R. "Ping-pong" ball into black-globe thermometer. *Agricultural Engineering*, St. Joseph, v.10, n.48, p.341-342, 1967.

SOUZA, C.F. et al. Avaliação de materiais alternativos para confecção do termômetro de globo. *Rev. Ciênc. Agrotec.*, Lavras, v.26, n.1, p.157-164. 2002.

NAVARINI, F. C. et al. Avaliação de Diferentes Diâmetros e Materiais para Confecção de Globos Negros para estimativa de índice de conforto térmico em condições de pasto. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ZOOTECNISTAS, 2007, Brasília. *Anais eletrônicos...*, Brasília: ABZ, 2007.

OMAR, L.G. et al. Proposta alternativa de globo negro para obtenção de temperatura radiante em ambientes internos. In: XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2010, Canela – RS. *Anais eletrônicos...*, Canela: ENTAC - 2010.