VII Congresso Brasileiro de Biometeorologia, Ambiência, Comportamento e Bem-Estar Animal
"Responsabilidade Ambiental e Inovação"

VII Brazilian Congress of Biometeorology, Ambience, Behaviour and Animal Welfare
"Environmental Responsibility and Innovation"

Simulador do equilíbrio térmico "Livestock Thermal Balance Simulator RGS" para animais de interesse zootécnico: uma nota técnica.

Eric de Andrade Culhari[1], Alex Sandro Campos Maia[1], Vinícius F. C. Fonsêca[1], Bruno Rodrigo Simão[1], Patric André Castro[1]

[1] Grupo de Inovação em Biometeorologia Animal (INOBIO); Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal-SP, Brasil. E-mail: ericculhari@yahoo.com.br

Resumo: O presente trabalho teve por objetivo descrever o programa *"Livestock Thermal Balance Simulator RGS"*, desenvolvido para o estudo do equilíbrio térmico de bovinos manejados em ambiente tropical com base em um modelo matemático. O programa foi desenvolvido no software Microsoft Excel®, utilizando a linguagem Visual Basic for Applications, orientada à objetos. Na interface do programa, o usuário deve inserir valores de variáveis medidas no ambiente e no animal, como temperatura do ar (Ta;°C), temperatura de globo negro (Tg;°C), umidade relativa do ar (UR; %), velocidade do vento (U; m s^{-1}), latitude (°decimais) e altitude (m) da cidade onde deseja fazer a simulação, comprimento (comp; m), diâmetro do tronco do animal (dia; m), temperatura da superfície do pelame (Ts;°C), frequência respiratória (F; resp min^{-1}) e peso corporal (Kg). Após inserir as variáveis, deve-se apertar algum dos botões que disparam a programação com o calculo de cada fluxo do modelo (convecção (CS; W m^{-2}), radiação de ondas longas (RL; W m^{-2}), evaporação na superfície corporal (ES; W m^{-2}) e evaporação no trato respiratório (ER; W m^{-2}) assim como dos fluxos sensíveis (q"sens; W m^{-2}) e latentes (q"lat; W m^{-2})). A partir de procedimentos *Sub*, o programa atribui valores às variáveis do modelo, calcula as funções matemáticas do fluxo escolhido, e retorna à um único valor de resultado. Afim de testar a funcionalidade do programa, foram realizadas três simulações com dados hipotéticos representando as características ambientais das regiões Norte, Nordeste e Sudeste do Brasil. Dentre os resultados obtidos a simulação da região Nordeste apresentou ganho de calor sensível e perda de calor latente q"sens = 33,7550W m^{-2} e q"lat = 528,3481W m^{-2} respectivamente; enquanto a simulação com os dados da região Sudeste apresentou resultados de perda de calor sensível e latente de q"sens = 110,4993W m^{-2} e q"lat = 266,1948W m^{-2} , respectivamente. Diante disso pode-se concluir que foi desenvolvido o programa ***"Livestock Thermal Balance Simulator RGS"***, que é uma ferramenta de simples manuseio, trazendo rapidamente valores do equilíbrio térmico de bovinos manejados em ambiente tropical a partir de variáveis de simples obtenção, tendo reconhecido potencial didático para o estudo do equilíbrio térmico desses animais.

Palvaras chaves: software, conforto térmico, bovinos.

Os autores deste trabalho são os únicos responsáveis por seu conteúdo e são os detentores dos direitos autorais e de reprodução. Este trabalho não reflete necessariamente o posicionamento oficial da Sociedade Brasileira de Biometeorologia (SBBiomet).

The authors of this paper are solely responsible for its content and are the owners of its copyright. This paper does not necessarily reflect the official position of the Brazilian Society of Biometeorology (SBBiomet).

Introdução

As variações do ambiente térmico são de natureza complexa (Silva, 2000a), especialmente nas condições de campo. Portanto, o uso de modelos matemáticos que verifiquem o efeito de todos os componentes ambientais e fisiológicos sobre o balanço de calor animal, mesmo que extensos, é um dos caminhos para estudar a termorregulação e desenhar ambientes mais confortáveis aos animais de produção. Modelos foram construídos para predizer processos de transferência de calor e massa em animais de interesse zootécnico (Mc Arthur, 1987; Silva, 2000a; Turnpenny et al., 2000; Maia et al., 2008). No entanto, esses modelos são de natureza extensa e complexa, fato que dificulta sua aplicação na prática. Assim, o desenvolvimento de um programa computacional que possa otimizar a aplicação desses modelos nos sistemas de produção animal é relevante (Haufe, 1976). Diante desse cenário, o propósito desse estudo foi desenvolver um programa computacional ("***Livestok Thermal Balance Simulator RGS***") com base no modelo de Silva (2000a) para estudo do equilíbrio térmico de bovinos criados em ambiente tropical.

Material e Métodos

O programa computacional "***Livestok Thermal Balance Simulator RGS"*** foi desenvolvido com base no modelo de Silva (2000a), substituindo algumas equações (Figura 1).

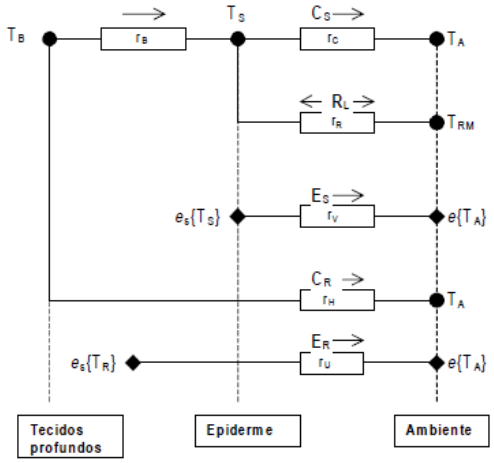


Figura 1 – Esquema do fluxo de energia térmica saindo do organismo de um bovino; onde: T_A= Temperatura do ar; T_{RM} = Temperatura Radiante Média; e{T_A} = pressão parcial de vapor da atmosfera; T_S = Temperatura da superfície cutânea; T_B= Temperatura corporal profunda; C_S = Fluxo por convecção na superfície; R_L = trocas por radiação de ondas longas; E_S = fluxo por evaporação cutânea; C_R = fluxo respiratório de calor sensível; E_R = fluxo por convecção respiratória; e_s{T_S} = pressão de saturação de vapor junto à epiderme; e_s{T_R} = pressão de saturação de vapor do ar expirado à temperatura T_R. Fonte: Silva (2000a)

O fluxo de calor por convecção respiratória pode ser desconsiderado em ambientes tropicais devido ao fato do gradiente de temperatura entre o interior do corpo e a atmosfera ser pequeno e, às vezes, negativo (Silva, 2000a). As equações que resultam nos fluxos calculados pelo programa estão na tabela 1.

Tabela 1 – Equações do modelo utilizado no programa ***"Livestock Thermal Balance Simulator RGS"***

Fluxos Sensíveis		**Fluxos Latentes**	
$\mathbf{CS} = \frac{\rho\, Cp\, (T_S - T_A)}{r_c}$, W m^{-2}	[⁂] (1)	$\mathbf{ES} = \frac{\lambda\, (\psi_S - \psi_{ATM})}{r_V}$, W m^{-2}	[⁑] (8)
$\mathbf{r_c} = \frac{d}{K\, Nu}$, s m^{-1}	[⁂] (2)	$\mathbf{r_V} = \frac{d}{D\, Sh}$, s m^{-1}	[⁑](9)
$\mathbf{RL} = \frac{\rho\, Cp\, (T_S - T_{RM})}{r_R}$, W m^{-2}	[⁂] (3)	$\mathbf{ER} = \frac{\lambda\, (\psi_R - \psi_{ATM})}{r_U}$, W m^{-2}	[⁑] (10)

$$\mathbf{r_R} = \frac{\rho\ Cp}{4\ \varepsilon\ \sigma\ T_{RM}{}^3},\ s\ m^{-1} \quad [\text{⁂}]\ (4)$$

$$\mathbf{q"sens} = \frac{\rho\ Cp\ (Ts - To)}{r_o},\ W\ m^{-2}\ [\text{⁂}]\ (5)$$

$$\mathbf{T_O} = \frac{r_c\ T_{RM} + r_R\ T_A}{r_R + r_C},\ °K \quad [\text{⁂}]\ (6)$$

$$\mathbf{r_o} = \frac{r_R\ r_C}{r_R + r_C},\ s\ m^{-1} \quad [\text{⁂}]\ (7)$$

$$\mathbf{r_U} = \frac{A}{F\ VRC},\ s\ m^{-1} \quad [\text{⁑}]\ (11)$$

$$\mathbf{q"lat} = \frac{\lambda\ (\psi_{OE} - \psi_{ATM})}{r_{OE}},\ W\ m^{-2} \quad [\text{⁑}]\ (12)$$

$$\boldsymbol{\psi_{OE}} = \frac{r_{ES}\ \psi_R + r_{ER}\ \psi_S}{r_U + r_V},\ g\ m^{-3} \quad [\text{⁑}]\ (13)$$

$$\mathbf{r_{OE}} = \frac{r_V\ r_U}{r_U + r_V},\ s\ m^{-1} \quad [\text{⁑}]\ (14)$$

[⁂] – Equações propostas por Silva (2000a);
[⁑] – Equações adaptadas de Silva & Maia (2013).

onde, ρ = Densidade do ar (gcm^{-3}); Cp = Calor específico do ar ($J\ g^{-1}\ K^{-1}$); Ts = Temperatura da superfície do pelame (°K); T_A = Temperatura do ar (°K); T_{RM} = Temperatura Radiante Média (Silva, 2000b) (°K); r_R = Resistência à transferência de calor por Radiação de Ondas Longas ($s\ m^{-1}$); r_c = Resistência à transferência de calor por Convecção ($s\ m^{-1}$); Nu = Numero adimensional de Nusselt (Silva & Maia, 2013);T_o = Temperatura Operativa; q"sens = Fluxo de calor sensível λ = Calor latente de vaporização ($J\ g^{-1}$); ψ_s = Umidade absoluta na superfície da epiderme ($g\ m^{-3}$); ψ_{ATM} = Umidade absoluta atmosférica ($g\ m^{-3}$); ψ_R = Umidade absoluta do ar expirado ($g\ m^{-3}$); d = Dimensão característica do corpo do animal (m); D = Difusividade do vapor de água ($m^2\ s^{-1}$); Sh = Número adimensional de Sherwood (Silva & Maia, 2013); A = Área da superfície corporal do animal (m^2); A = Área de superfície corporal (m^{-2}); F = Frequência respiratória (resp. min^{-1}); VRC = Volume Respiratório Corrente ($m^3\ resp^{-1}$) (Maia et al., 2005); q"lat = Fluxo de calor latente ($W\ m^{-2}$); ψ_{OE} = Umidade Absoluta Operativa Evaporativa ($g\ m^{-3}$; r_o = Resistencia Operativa ($s\ m^{-1}$); T_o = Temperatura operativa (°K) ; r_{OE} = Resistência Operativa Evaporativa. ($s\ m^{-1}$)

Os fluxos de calor por convecção (CS) e radiação de ondas longas (RL) estão em paralelo e dependem da temperatura do ar e radiante média, respectivamente. Assim, ambos foram unificados utilizando os princípios da Temperatura Operativa (T_o; Herrington et al., 1937), expressando o total da transferência de calor sensível (q"sens). De semelhante modo, os fluxos de calor latente na superfície corporal e trato respiratório (ES e ER) também estão dispostos em paralelo, dependendo das umidades absolutas da superfície do corpo (ψ_s) e do ar expirado (ψ_R), sendo unificadas numa única umidade absoluta chamada de Umidade Operativa Evaporativa (ψ_{OE}) de modo semelhante ao proposto por Maia et al. (2008). Com isso, as perdas evaporativas foram unificadas em um único valor de q"lat.

As funções foram programadas no software Microsoft Excel® utilizando a linguagem "Visual Basic For Applications", orientada a objetos. Com a inclusão das variáveis de entrada comprimento (m), diâmetro do tronco do animal (m), temperatura do ar (Ta; °C), globo negro (Tg; °C), e da superfície do pelame (Ts; °C), umidade relativa do ar (UR; %), velocidade do vento (U; $m\ s^{-1}$), e frequência respiratória (*F*; $respmin^{-1}$), é possível determinar o balanço de calor do animal calculando os fluxos do modelo (Figura 1). Ademais, para cálculo dos fluxos de transferência de calor por convecção, radiação de ondas longas e evaporação na superfície, é necessária a obtenção dos números adimensionais (Prandtl, Grashof, Reynolds, Nusselt, Shmidt e Sherwood), os quais dependem da aceleração da gravidade ($m\ s^{-1}$), que por sua vez é obtida a partir da altitude (m) e latitude (°decimais) da localidade a ser estudada (Silva, 2008). Para o calculo da área de superfície corporal foi utilizada uma equação com base na proposta por Elting (1926) que leva em conta o peso corporal do animal (kg).

A realização dessas ações é relativamente simples, sendo dispostas em layout com botões interativos (Figura 2). Ao clicar em algum dos botões, o usuário dispara um procedimento *sub* (Procedimento que realiza as ações do programa), o qual atribui a variável que compõe os cálculos do respectivo fluxo realiza procedimentos *function* (Procedimento que calcula as funções correspondentes ao fluxo solicitado), retornando o resultado final em uma caixa de mensagem. Clicando no botão próxima simulação, o programa realiza o calculo de todos os fluxos do modelo e cria uma lista em uma que é apresentada ao usuário através do botão "Visualizar Resultados". Na planilha de resultados o usuário conta com outro botão nomeado "Gráfico" que cria um gráfico de barras com os resultados das simulações.

Foram realizadas três simulações levando em consideração o cenário: Um bovino da raça Holandesa, protegido da radiação solar de ondas curtas, com dimensões de 2,0 metros para seu comprimento e 0,9 metros de diâmetro corporal; as demais condições meteorológicas (Tabela 2) foram estimadas com dados da literatura. Porém, por não haver nenhum trabalho que contemple todas essas variáveis medidas, tais valores são aproximações empiricas com o objetivo de caracterizar a condição climática de diferentes latitudes.

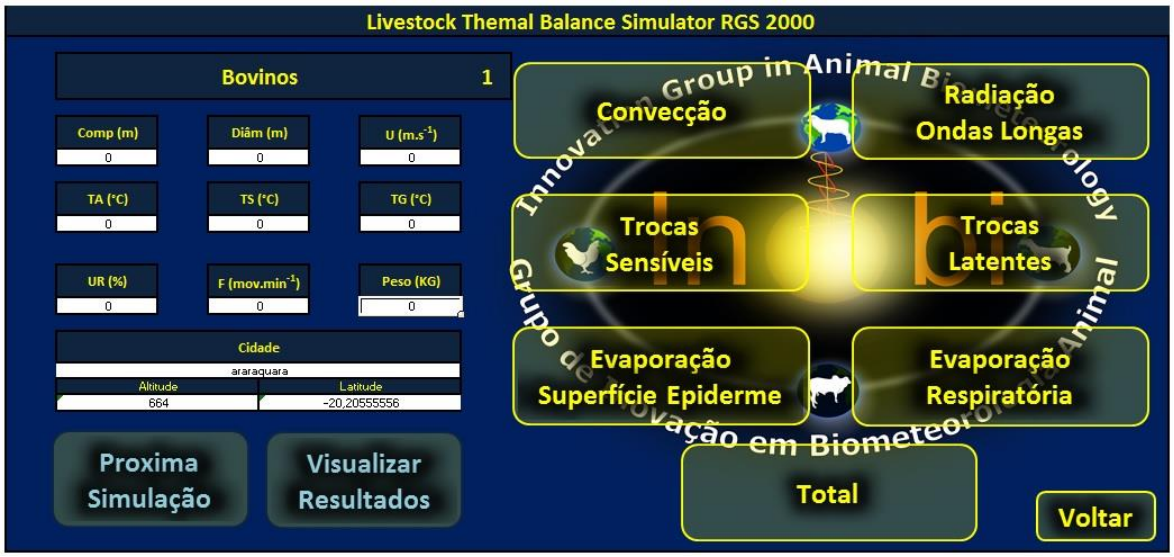


Figura 2: Layout do programa ***"Livestok Thermal Balance Simulator RGS"***.

Tabela 2 – Dados de entrada para simulações no programa ***"Livestock Thermal Balance Simulator RGS".***

Variáveis de entrada	Regiões		
	Norte	Nordeste	Sudeste
U, (m s^{-1})	0,5	1,5	1,0
Ta, °C	38	40	30
Ts, °C	37	39	36
Tg, °C	39	41	30
U_R, %	80	30	60
F,resp..min^{-}	50	70	30
Altitude, m	354	12	664

Resultados e Discussão

Os fluxos de calor CS, RL, ES e ER, bem como q"sens e q"lat, foram calculados em menos de dois minutos e estão apresentados na Figura 4.

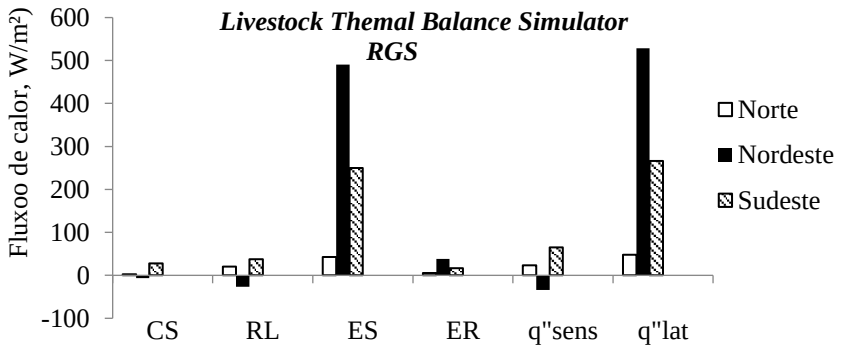


Figura 4 – Adaptação do gráfico de saída do programa ***"Livestock Thermal Balance Simulator RGS 2000"*** com os fluxos de calor por Convecção (CS), Radiação de Ondas Longas (*RL*), Evaporação na Superfície Corporal (ES), Evaporação no Trato Respiratório (ER), Sensível (q"sens) e Latente (q"lat) das simulações para as diferentes regiões do Brasil (Sudeste, Nordeste e Norte).

Os resultados apresentados na Fig. 4 se fosse obtidos de modo usual com a utilização de calculadoras levaria aproximadamente três horas, enquanto foi possível obter os mesmos em poucos minutos utilizando o programa ***"Livestock Termal Balance Simulator RGS"*** . Os resultados dessa Figura mostram que os fluxos de calor dos animais e seu equilibrio térmico é extremamente dependente das condições ambientais do meio. Desta forma a utilização do programa desenvolvido pode auxiliar na tomada de decisão, direcionando em um primeiro momento, quais os possíveis caminhos para as modificações ambientais necessárias a serem feitas no meio visando melhorar o conforto térmico e consequentemente elevar bem-estar dos animais.

Conclusão

[1] Foi desenvolvido e aplicado em dados simulados o programa computacional ***"Livestock Termal Balance Simulator RGS"*** para o calculo do equilíbrio térmico em Bovinos;

[2] Devido ***"Livestock Termal Balance Simulator RGS"*** possuir interface interativa e variáveis de entrada simples, o mesmo pode ser utilizado diretamente à nível de campo por técnicos, estudantes e profissionais que trabalham na produção de bovinos; e

[3] O ***"Livestock Termal Balance Simulator RGS"*** apresenta potencial didático e pode ser utilizado no processo de aprendizagem nos cursos de graduação e pós-graduação nas áreas de Zootecnia, Agronomia, Medicina Veterinária, Biologia e Engenharia de Biossistemas.

Referências

Elting EC (1926) A formula for estimating surface area of dairy cattle. Journal of Agricultural Research. Vol 33 No 3 p.269-279

Haufe WO (1976) Systems analysis in biometeorology and its relevance to the biological sciences. Int J Biometeorol. 20(suppl1): doi: 10.1007/BF01553965

Maia ASC, Silva RG, Loureiro CMB (2008) Latent heat loss of Holtein cows in a tropical environment: a prediction model. R Bras. Zootec., v37, n10, p.1837-1843. http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982008001000018

Maia ASC, DaSilva RGS, Loureiro CMB (2005) Respiratory heat loss of Holstein cows in a tropical environment. Int. J. Biometeorol 49:332–336 doi: 10.1007/s00484-004-0244-0

McArthur (1987) Thermal interaction between animal and microclimate: a comprehensive model. J. Theor. Biol. 126, 203-238 https://doi.org/10.1016/S0022-5193(87)80229-1

Microsoft Excel (2010), Microsoft Office 2010 home basic, Microsoft, United States

Silva RG (2000a) Um modelo para determinação do equilíbrio térmico de bovinos em ambientes tropicais. R. Bras. Zootec., 29(4):1244-1252.

Silva RG (2000b) Introdução à Bioclimatologia Animal. Nobel, Brasil

Silva RG (2008) Biofísica Ambiental – Os animais e seu ambiente. Funep, Brasil

Silva RG, Maia ASC (2013) Principles of Animal Biometeorology. Springer, Netherlands.

Turnpenny JR, Mc Arthur AJ, Clark JA, Wathes CM (2000) Thermal balance of livestock. 1. A parcimonious model. Agric. For Meteorol. 101:15-27 https://doi.org/10.1016/S0168-1923(99)00159-8