

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

PATRÍCIA KELLY DE MORAES BRETTAS

**Escolha do índice de estresse térmico e da origem dos dados do ambiente térmico para
avaliar o estresse por calor em bovinos leiteiros em ambiente tropical**

UBERLÂNDIA

2017

PATRÍCIA KELLY DE MORAES BRETTAS

**Escolha do índice de estresse térmico e da origem dos dados do ambiente térmico para
avaliar o estresse por calor em bovinos leiteiros em ambiente tropical**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias/ Mestrado da Faculdade de Medicina Veterinária da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Ciências Veterinárias.

Área de Concentração: Produção Animal

Orientador (a): Mara Regina Bueno de Mattos Nascimento

UBERLÂNDIA

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

- B845e
2017 Brettas, Patrícia Kelly de Moraes, 1984
 Escolha do índice de estresse térmico e da origem dos dados do ambiente térmico para avaliar o estresse por calor em bovinos leiteiros em ambiente tropical / Patrícia Kelly de Moraes Brettas. - 2017.
 89 p. : il.
- Orientadora: Mara Regina Bueno de Mattos Nascimento.
 Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias.
 Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2018.20>
 Inclui bibliografia.
1. Veterinária - Teses. 2. Gado leiteiro - Teses. 3. Temperatura - Teses. 4. Conforto térmico - Teses. I. Nascimento, Mara Regina Bueno de Mattos. II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias. III. Título.

CDU: 619

PATRÍCIA KELLY DE MORAES BRETTAS

**ESCOLHA DO ÍNDICE DE ESTRESSE TÉRMICO E DA ORIGEM DOS DADOS DO
AMBIENTE TÉRMICO PARA AVALIAR O ESTRESSE POR CALOR EM
BOVINOS LEITEIROS EM AMBIENTE TROPICAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias/ Mestrado da Faculdade de Medicina Veterinária da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Ciências Veterinárias.

Área de Concentração: Produção Animal

Uberlândia, 14 de novembro de 2017

Banca examinadora:



Profa. Dra. Mara Regina Bueno de Mattos Nascimento
(Orientadora – UFU)



Prof. Robson Carlos Antunes
(Examinador – UFU)



Dra. Carolina Cardoso Nagib Nascimento
(Examinadora – UNESP)

Aos meus pais Lotário e Sueli, ao meu
esposo Anderson, à minha filha Ana Júlia, a
todos familiares e amigos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por sempre guiar os meus passos e me fortalecer.

Aos meus pais Lotário e Sueli, por me apoiarem e me darem todas as condições de crescer, em todos os aspectos da vida.

Ao meu marido Anderson e à minha filha Ana Júlia, pelo companheirismo, amizade e paciência ao longo dessa conquista.

À minha orientadora Profa. Dra. Mara Regina Bueno de Mattos Nascimento, por me acolher novamente depois de mais de 10 anos e de maneira tão atenciosa e dedicada.

Ao Prof. Dr. Ednaldo Carvalho Guimarães, por auxiliar com tamanha presteza e educação ao me auxiliar com as análises estatísticas.

Ao Prof. Dr. Luiz Antônio de Araújo do Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia por me fornecer dados meteorológicos coletados na Fazenda do Campus Glória e ao INMET pela colaboração com os dados da cidade.

Ao Prof. Dr. Robson Carlos Antunes e à colega de longa data Dra. Carolina Cardoso Nagib Nascimento, por disporem de seu tempo e contribuírem em meus estudos, aceitando participar da banca.

À colega de pós-graduação Fernanda Gatti de Oliveira Nascimento, pelo companheirismo, troca de experiências e por sempre me auxiliar prontamente.

Aos colaboradores da Fazenda do Campus Glória e aos alunos da graduação, que me auxiliaram nos dias de coleta, especialmente, Lorena Martins Araújo, Paulo Victor Durant de Carvalho, Gabriella Pereira de Souza, Willian Rodrigues Valadares e Ana Luíza Franco.

Enfim, a todos que de alguma maneira me auxiliaram.

O Medo: O Maior Gigante da Alma

Não sei se estou perto ou longe demais, sei apenas que sigo em frente, vivendo dias iguais de
forma diferente.

Levo comigo cada recordação, cada vivência, cada lição.

E mesmo que tudo não ande da forma que eu gostaria, saber que já não sou o mesmo de
ontem me faz perceber que valeu a pena.

Aprendi que viver é ser livre, que ter amigos é necessário, que lutar é manter-se vivo.

Aprendi que o tempo cura, que a mágoa passa, que decepção não mata!

Que hoje é o reflexo de ontem, que os verdadeiros amigos permanecem para sempre e que a
dor fortalece.

Aprendi que sonhar não é fantasiar, que a beleza não está no que vemos e sim no que
sentimos!

Aprendi que um sorriso é a maneira mais barata de melhorar a aparência.

Que não posso escolher como me sinto, mas posso escolher o que fazer a respeito.

Aprendi que não é preciso correr atrás da felicidade, ela está nas pequenas coisas, e hoje, sei
que posso ser e fazer o que quiser, mas a gente é aquilo que faz, é o que vale a pena e só o que
permanece...

Há um tempo em que é preciso abandonar as roupas usadas...

Que já têm a forma do nosso corpo...

E esquecer os nossos caminhos que nos levam sempre aos mesmos lugares...

É o tempo da travessia...

E se não ousarmos fazê-la...

Teremos ficado...

para sempre...

À margem de nós mesmos...

(Fernando Teixeira de Andrade)

RESUMO

Primeiramente objetivou-se neste estudo examinar dentre os principais índices de estresse térmico qual melhor reflete o potencial impacto das condições meteorológicas sobre a homeostase térmica de novilhas leiteiras mestiças. Oito animais foram expostos ao sol das 9h00 às 13h00 em novembro e dezembro de 2016, janeiro e fevereiro de 2017, em Uberlândia, MG, Brasil. Após, foram medidas a frequência respiratória e a temperatura retal. Simultaneamente, foram quantificadas as temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido, temperatura do globo negro e velocidade do vento. Em seguida, foram calculados a radiação solar, a umidade relativa, a temperatura radiante média e dez índices de estresse térmico. Os mesmos foram correlacionados com as variáveis fisiológicas e o Índice de Temperatura Equivalente apresentou as maiores correlações, seguido pelo Índice de Estresse Térmico para Vacas e pelo Índice de Estresse Ambiental. Na segunda pesquisa, determinaram-se os valores de temperatura do ar, umidade relativa e Índice de Temperatura e Umidade (ITU) de uma propriedade rural de produção de leite a pasto e da estação meteorológica oficial mais próxima, confrontando-os. Na fazenda, as leituras dos dados foram registradas por uma estação meteorológica automática, a cada cinco minutos, de fevereiro de 2015 a setembro de 2016. Depois, calcularam-se a média por hora e o ITU horário. Selecionaram-se os valores diários mínimo, médio e máximo. O mesmo foi feito com os dados da estação meteorológica oficial, que foram horários. A temperatura mínima e média na estação meteorológica foram maiores que na fazenda, respectivamente, durante todo período experimental e em 16 meses. A temperatura máxima da propriedade rural foi maior que a da estação em seis meses. Já a umidade relativa mínima, média e máxima da estação meteorológica foram inferiores às da fazenda. O ITU mínimo foi maior na estação oficial e o ITU máximo superior na fazenda em todos os meses. Por fim, o número de dias com um ITU máximo igual ou superior ao ITU crítico foi maior na fazenda. Assim, dados da estação meteorológica oficial subestimam o efeito do estresse por calor.

Palavras-chave: Conforto térmico. Estresse térmico. Frequência respiratória. Gado leiteiro. Índice de Temperatura e Umidade. Temperatura retal.

ABSTRACT

Firstly, the objective of this study was to examine among the main heat stress indexes which ones best reflect the potential impact of meteorological conditions on the thermal homeostasis of half-blood dairy heifers bred. Eight animals were exposed to direct sunlight from 9h00 to 13h00 in November and December of 2016 and January and February of 2017, in Uberlândia, MG, Brazil. After, the respiratory rate and the rectal temperature were measured. Simultaneously, the temperatures of dry bulb and wet bulb, as well as that of black globe, were quantified, as was the wind speed. Afterwards, the solar radiation, the relative humidity, the mean radiant temperature and ten stress indexes were calculated. They were correlated with the physiological variables and the Equivalent Temperature Index presented the highest amount of meaningful correlations, followed by the Cattle Heat Stress Index and the Environmental Stress Index. In a second research, the values of air temperature, relative humidity and Temperature Humidity Index (THI) of one rural property with milk production at pasture and those from the nearest official weather station were determined, confronting them. At the farm, data readings were recorded by an automatic weather station, every five minutes, from February 2015 to September 2016. Then, the hourly average and hourly THI were calculated. The minimum, average and maximum daily values were selected. The same was done with data from the official weather station, which were times. The minimum and mean temperature in the meteorological station were higher than on the farm, respectively, throughout the experimental period and in 16 months. The maximum temperature of the rural property was greater than that of the station in six months. Meanwhile, the minimum, average and maximum relative humidity of the meteorological station were lower than those of the farm. The minimum THI was higher at the official station and the maximum THI higher at the farm in every month. Finally, the number of days with a maximum THI equal to or greater than the critical THI was higher on the farm. Thus, data from the official weather station underestimate the effect of heat stress.

Keywords: Dairy cattle. Rectal temperature. Respiratory rate. Temperature Humidity Index. Thermal comfort. Thermal stress.

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2	PÁG
TABELA 1 Equações para o cálculo da radiação solar, umidade relativa, temperatura radiante e alguns índices de estresse térmico.....	60
TABELA 2 Valores médios, desvio padrão e variação das condições meteorológicas e fisiológicas de termorregulação de novilhas leiteiras mestiças obtidas após 4 horas de exposição ao sol em Uberlândia, MG.....	62
TABELA 3 Coeficientes de correlação entre os índices de estresse térmico e as variáveis fisiológicas de termorregulação de novilhas leiteiras mestiças obtidas após 4 horas de exposição ao sol em Uberlândia, MG	63
TABELA 4 Valores médios, desvio padrão e variação dos índices estresse térmico calculados a partir de variáveis ambientais coletadas durante o período experimental em Uberlândia, MG.....	64
 CAPÍTULO 3	 PÁG
TABELA 1 Número, diferença e percentual de dias em que o ITU máximo foi igual ou superior ao ITU crítico na propriedade rural (Fazenda Glória – Universidade Federal de Uberlândia) e na estação meteorológica oficial (EM) mais próxima de fevereiro de 2015 a setembro de 2016 (607 dias), Uberlândia, MG, Brasil.....	77

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 3	PÁG
FIGURA 1 Médias da umidade relativa mínima (%) calculadas a partir de dados da estação meteorológica oficial mais próxima e da propriedade rural (Fazenda Glória – Universidade Federal de Uberlândia) de fevereiro de 2015 a setembro de 2016, Uberlândia, MG, Brasil.....	70
FIGURA 2 Médias da umidade relativa média (%) calculadas a partir de dados da estação meteorológica oficial mais próxima e da propriedade rural (Fazenda Glória – Universidade Federal de Uberlândia) de fevereiro de 2015 a setembro de 2016, Uberlândia, MG, Brasil.....	71
FIGURA 3 Médias da umidade relativa máxima (%) calculadas a partir de dados da estação meteorológica oficial mais próxima e da propriedade rural (Fazenda Glória – Universidade Federal de Uberlândia) de fevereiro de 2015 a setembro de 2016, Uberlândia, MG, Brasil.....	71
FIGURA 4 Médias da temperatura do ar mínima (°C) calculadas a partir de dados da estação meteorológica oficial mais próxima e da propriedade rural (Fazenda Glória – Universidade Federal de Uberlândia) de fevereiro de 2015 a setembro de 2016, Uberlândia, MG, Brasil.....	73
FIGURA 5 Médias da temperatura do ar média (°C) calculadas a partir de dados da estação meteorológica oficial mais próxima e da propriedade rural (Fazenda Glória – Universidade Federal de Uberlândia) de fevereiro de 2015 a setembro de 2016, Uberlândia, MG, Brasil.....	73
FIGURA 6 Médias da temperatura do ar máxima (°C) calculadas a partir de dados da estação meteorológica oficial mais próxima e da propriedade rural (Fazenda Glória – Universidade Federal de Uberlândia) de fevereiro de 2015 a setembro de 2016, Uberlândia, MG, Brasil.....	74

FIGURA 7	Médias do ITU médio calculadas a partir de dados da estação meteorológica oficial mais próxima e da propriedade rural (Fazenda Glória – Universidade Federal de Uberlândia) de fevereiro de 2015 a setembro de 2016, Uberlândia, MG, Brasil.....	75
FIGURA 8	Médias do ITU mínimo calculadas a partir de dados da estação meteorológica oficial mais próxima e da propriedade rural (Fazenda Glória – Universidade Federal de Uberlândia) de fevereiro de 2015 a setembro de 2016, Uberlândia, MG, Brasil.....	75
FIGURA 9	Médias do ITU máximo calculadas a partir de dados da estação meteorológica oficial mais próxima e da propriedade rural (Fazenda Glória – Universidade Federal de Uberlândia) de fevereiro de 2015 a setembro de 2016, Uberlândia, MG, Brasil.....	76

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

e - base do logaritmo natural

ERHL - carga térmica de radiação efetiva

σ - constante de Stefan-Boltzmann

°C - graus Celsius

ICC - Índice Climático Compreensivo

ICT - Índice de Carga Térmica

ICTbl - Índice de Conforto Térmico para Bovinos de Leite

IEA - Índice de Especificação Ambiental

IET - Índice de Estresse Térmico

IETV - Índice de Estresse Térmico para Vacas

IFR - Índice de Frequência Respiratória

IGNU - Índice de Globo Negro e Umidade

ITE - Índice de Temperatura Equivalente

ITU - Índice de Temperatura e Umidade

K - Kelvin

km.h⁻¹ - quilômetros por hora

m.s⁻¹ - metros por segundo

mov.min⁻¹ - movimentos respiratórios por minuto

% - percentual

T_G' - preditor da temperatura de globo negro

p_v - pressão parcial de vapor

S - radiação solar

T_A - temperatura ambiente

T_G - temperatura de globo negro

T_{PO} - temperatura de ponto de orvalho

T_{RM} - temperatura radiante média

UR - umidade relativa do ar

V - velocidade do vento

W.m⁻² - watts por metro quadrado

ZTN – zona de termoneutralidade

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	14
1 INTRODUÇÃO.....	15
2 OBJETIVOS.....	16
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	17
3.1 Influência das variáveis do ambiente térmico sobre a termorregulação.....	17
3.2 Efeito do ambiente térmico sobre os bovinos leiteiros.....	18
3.3 Mecanismos de troca de calor.....	19
3.4 Variáveis fisiológicas e o estresse térmico.....	20
3.4.1 Frequência respiratória.....	21
3.4.2 Temperatura retal	22
3.5 Zona de Termoneutralidade.....	23
3.6 Índices de estresse térmico para a bovinocultura de leite.....	24
3.6.1 Índice de Temperatura e Umidade.....	24
3.6.2 Índice de Globo Negro e Umidade.....	26
3.6.3 Índice de Temperatura Equivalente	26
3.6.4 Índice de Estresse Térmico.....	27
3.6.5 Índice de Frequência Respiratória.....	28
3.6.6 Índice de Carga Térmica.....	29
3.6.7 Índice de Especificação Ambiental.....	30
3.6.8 Índice de Conforto Térmico para Bovinos de Leite.....	30
3.6.9 Índice Climático Compreensivo.....	31
3.6.10 Índice de Estresse Térmico para Vacas.....	32
3.7 Origem das variáveis do ambiente térmico.....	33
REFERÊNCIAS.....	36
CAPÍTULO 2 - MELHOR ÍNDICE DE ESTRESSE TÉRMICO PARA NOVILHAS LEITEIRAS MISTIÇAS.....	44
ABSTRACT.....	45
1 INTRODUÇÃO.....	47
2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	48
3 RESULTADOS.....	50
4 DISCUSSÃO.....	50
5 CONCLUSÕES.....	54

MANUFACTURERS.....	55
REFERÊNCIAS.....	55
CAPÍTULO 3 - DADOS DE ESTAÇÃO METEOROLÓGICA OFICIAL	
SUBESTIMAM OS EFEITOS DO ESTRESSE POR CALOR EM BOVINOS	
LEITEIROS CRIADOS EM AMBIENTE TROPICAL.....	65
RESUMO.....	66
ABSTRACT.....	66
1 INTRODUÇÃO.....	67
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	68
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	69
4 CONCLUSÕES.....	77
5 AGRADECIMENTOS.....	77
REFERÊNCIAS.....	78
ANEXO A - PROTOCOLO DE REGISTRO NO CEUA-UFU.....	81
ANEXO B - INSTRUÇÕES PARA SUBMISSÃO DE ARTIGOS DA REVISTA	
ARQUIVO BRASILEIRO DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA....	82

CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

(Redigido de acordo com as normas da Biblioteca da Universidade Federal de Uberlândia)

1 INTRODUÇÃO

A maior parte do território brasileiro encontra-se na faixa tropical da Terra e, assim, é caracterizada por uma elevada incidência de radiação solar, uma temperatura do ar média acima dos 20°C e uma temperatura máxima superior aos 30°C (REZENDE et al., 2015). Portanto, as vacas leiteiras no país estão vulneráveis ao estresse por calor (MOLLO NETO; NÄÄS, 2014). Este representa a força que as variáveis do ambiente térmico exercem sobre o animal, o qual passa a apresentar uma resposta fisiológica proporcional à intensidade dessa força e à capacidade do seu organismo de compensar os desvios oriundos do estresse por calor (SILVA, 2000).

Como o estresse por calor influencia diretamente o desempenho produtivo e reprodutivo das vacas leiteiras, a escolha das medidas corretivas mais adequadas para a atenuação dos seus efeitos sobre o rebanho é essencial para que a produção de leite brasileira aumente e se torne mais competitiva (MACCIOTTA et al., 2017). Dessa maneira, o conhecimento das condições climáticas de determinada região e a escolha dos genótipos mais adaptados ao calor, especialmente os bovinos mestiços, são condições necessárias para a expansão das áreas destinadas à criação de bovinos de leite (ALMEIDA NETO et al., 2014; NIENABER; HANH; EIGENBERG, 2004).

Mas é importante ressaltar que a temperatura ambiente elevada não é a única variável do ambiente térmico responsável pelo estresse por calor, há também a ação da radiação solar, da velocidade do vento e da umidade do ar (SILVA; MORAIS; GUILHERMINO, 2007). Assim, surgem os índices de estresse térmico, que avaliam tais variáveis de maneira integrada e fornecem como resultado um único valor. O Índice de Temperatura e Umidade (THOM, 1959) é o mais antigo e, mesmo apresentando a limitação de considerar apenas a temperatura ambiente e a umidade do ar, é amplamente utilizado para avaliar os efeitos do estresse por calor em vacas leiteiras (BOHMANOVA; MISZTAL; COLE, 2007; SEGNALINI et al., 2013). Já índices mais recentes, como o Índice de Estresse Térmico para Vacas (SILVA; MAIA; COSTA, 2015), levam em consideração outros fatores, como a velocidade do vento e a intensidade da radiação solar.

Portanto, a adequada interpretação dos resultados dos índices de estresse térmico auxilia a estimar os efeitos do estresse por calor na produção e na reprodução animal e a adotar as medidas corretivas mais apropriadas (NASCIMENTO et al., 2013). Além disso, também se deve optar pelos índices mais adequados para cada ambiente térmico e pela maneira mais correta e fidedigna de se obter as variáveis do ambiente térmico para o cálculo dos mesmos.

2 OBJETIVOS

Objetivou-se, no primeiro estudo, examinar dentre os principais índices de estresse térmico qual melhor reflete o potencial impacto das condições meteorológicas sobre a homeostase térmica de novilhas leiteiras mestiças criadas em Uberlândia, MG. Em uma segunda pesquisa, objetivou-se comparar dados de temperatura ambiente, umidade do ar e Índice de Temperatura e Umidade (ITU) obtidos em uma propriedade rural, em região tropical com sistema de criação de bovinos leiteiros a pasto, com os da estação meteorológica oficial mais próxima, com a finalidade de avaliar o estresse por calor.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Influência das variáveis do ambiente térmico sobre a termorregulação

Os bovinos criados em sistema de pastejo extensivo são mais vulneráveis ao estresse por calor, pois estão mais expostos às condições adversas do ambiente térmico (PINHEIRO et al., 2015). Especificamente em regiões tropicais como o Brasil, a severidade do estresse por calor é resultante do efeito combinado de temperatura ambiente elevada, umidade relativa do ar alta, intensa radiação solar e velocidade do vento baixa (ALMEIDA et al., 2011).

Referente à temperatura do ar, quando esta se eleva acima da zona termoneutra, a dissipação de calor do corpo do animal para o ambiente torna-se menos expressiva que a sua produção de calor e, assim, ocorre a ativação de processos físicos, bioquímicos e fisiológicos para tentar manter o equilíbrio térmico (SILANIKOVE, 2000). Portanto, há um intervalo de temperatura ambiente ideal para os animais. No caso dos bovinos zebuínos, tal intervalo está entre 7 e 35°C (SILVA, 2000), já para as raças europeias varia de -1°C a 21°C (MIRANDA; FREITAS, 2009).

Porém, é importante ressaltar que, segundo Silva (2000), os efeitos da temperatura ambiente variam conforme a intensidade da umidade relativa do ar, cuja importância aumenta à medida que a termorregulação do animal é mais dependente dos mecanismos evaporativos de perda de calor. Para os bovinos, o ideal é que a umidade esteja entre 50% e 70% (ALMEIDA NETO et al., 2014; TAKAHASHI; BILLER; TAKAHASHI, 2009).

Caso o ambiente tenha a combinação de uma temperatura elevada e uma umidade relativa baixa, será intensa a dissipação de calor pelo organismo através dos mecanismos evaporativos, o que tende a causar irritação cutânea e desidratação geral das mucosas e vias respiratórias (STARLING et al., 2002). Em contrapartida, no ambiente com uma temperatura igualmente elevada, porém com uma alta umidade relativa, as perdas evaporativas são menos eficientes, o que intensifica os malefícios do estresse por calor sobre os animais (BOHMANOVA; MISZTAL; COLE, 2007).

Referente à radiação solar, este é o principal fator do ambiente térmico que afeta o gado nas regiões tropicais e resulta das radiações direta e difusa. A radiação de onda curta direta é oriunda do próprio sol, já a difusa provém do céu azul e/ou das nuvens. Por fim, há também a radiação de onda longa refletida pelo solo e pelos objetos sobre ele (SILVA; MAIA; COSTA, 2015). Segundo

Maia e colaboradores (2015), valores de radiação solar acima de 800W.m^{-2} já podem ser considerados elevados, influenciando diretamente a intensidade da temperatura do ar.

Por fim, ainda há a ação do vento, que é fundamental na dissipação de calor da superfície do corpo do animal para o ambiente, reduzindo, assim, a sua temperatura corporal superficial (MADER; JOHNSON; GAUGHAN, 2010). Esse fato justifica a importância da ventilação natural ou artificial para oferecer um maior conforto térmico nas instalações dos animais de produção (DARCAN; GÜNEY, 2008), especialmente quando a temperatura ambiente é inferior à temperatura corporal dos bovinos. O ideal para a termorregulação de bovinos nos trópicos é uma velocidade do vento de 5 a 8 km.hora^{-1} , o que equivale a 1,4 a 2,2 m.s^{-1} (HAHN, 1985; PEREIRA, 2005).

A maioria dessas variáveis do ambiente térmico podem ser obtidas nas estações meteorológicas oficiais, o que se acredita ser mais fácil e mais econômico (SHOCK et al., 2016). Porém, os dados referentes à temperatura do ar e à umidade relativa, por exemplo, podem ser facilmente obtidos na própria fazenda, com o uso de um termohigrômetro, aparelho facilmente encontrado no mercado e com um preço acessível ao produtor rural (NEVES et al., 2015).

3.2 Efeito do ambiente térmico sobre os bovinos leiteiros

Um correto manejo do rebanho leiteiro envolve, dentre outros fatores, uma adequada nutrição, vacas com um alto mérito genético e um ambiente que forneça o conforto necessário para se obter uma elevada produtividade sem comprometer o bem-estar animal (BARKEMA et al., 2015). Referente ao ambiente térmico, este é classificado como confortável quando há um equilíbrio entre ele e o animal, porém, quando isso não ocorre, surge o estresse pelo calor ou pelo frio, no qual, o organismo precisa intensificar os mecanismos de termorregulação para tentar manter a temperatura corporal profunda dentro da normalidade (LINHARES et al., 2015).

Durante o estresse por calor, algumas alterações observadas nos bovinos são o aumento no consumo de água, no tempo de ócio, no pastoreio noturno e uma diminuição na ingestão de matéria seca, na ruminação, no pastoreio diurno, na quantidade e qualidade do sêmen ejaculado, nas manifestações dos sinais de estro, podendo ocorrer até mesmo o anestro (COSTA, D. F. et al., 2015). Além dessas perdas, uma outra maneira importante de se identificar o estresse por calor é

através da avaliação da produção leiteira, pois a sua quantidade e qualidade tendem a ser severamente comprometidas (RODRIGUES; SOUZA; PEREIRA FILHO, 2010).

Uma estratégia para se obter um maior desempenho animal no Brasil é optar pelas raças bovinas mestiças, que são mais adaptadas ao calor (CATTLEMAN; VALE, 2013) e que já compõem grande parte do rebanho leiteiro nacional (COSTA et al., 2016). De toda maneira, mesmo os bovinos mestiços sendo mais termotolerantes, eles também requerem instalações e sistemas de manejo que ofereçam conforto térmico para que, assim, possam apresentar uma produtividade satisfatória (ALMEIDA NETO et al., 2014).

Além disso, a composição genética desses animais cruzados também é de grande importância, pois as vacas cruzadas com uma composição mais próxima da raça Holandesa e, conseqüentemente, com uma maior produção leiteira são mais vulneráveis ao estresse pelo calor (GEBREMEDHIN; WU; PERANO, 2016). Portanto, uma opção é a utilização da raça Gir nesses cruzamentos, pois essa é a raça zebuína mais especializada na produção de leite e, dessa maneira, os animais da raça Girolando (Gir x Holândes) apresentam elevado potencial para a produção de leite e boa adaptabilidade ao calor (MIRANDA; FREITAS, 2009).

3.3 Mecanismos de troca de calor

Os bovinos, por conseguirem manter a sua temperatura corporal profunda constante dentro de determinadas variações da temperatura do ar, são classificados como animais homeotérmicos (MOLLO NETO; NAAS, 2014). Quando as condições meteorológicas são adversas às ideais, o sistema termorregulador é acionado para aumentar a dissipação de calor ou para ganhar calor (TOSETTO et al., 2014). Porém, o desempenho produtivo, reprodutivo e o bem-estar podem ficar prejudicados, pois são funções menos vitais ao organismo (MOLLO NETO; NAAS, 2014).

Segundo Silva (2000), há dois mecanismos de perda de calor: insensíveis (evaporação: pela superfície cutânea e pela respiração) e sensíveis (condução, convecção e radiação de ondas longas). A perda de calor por evaporação cutânea não ocorre apenas pelo suor produzido pelas glândulas sudoríparas (sudação). Também há o processo denominado perspiração, que é a difusão do vapor dos fluidos procedentes dos tecidos abaixo da epiderme, ou seja, é a difusão da água por meio da epiderme, auxiliando na dissipação de calor. Assim, a evaporação cutânea corresponde a um

volume de água superior àquele secretado unicamente pelas glândulas sudoríparas (SILVA; STARLING, 2003).

A condução é o processo em que o corpo do animal troca calor com o ambiente através do contanto direto. Já a convecção é o de transporte de massa em que há o movimento de um fluido devido ao gradiente de temperatura. No animal, a convecção ocorre através da saída de calor do organismo para o ar mais frio, o que é influenciado pela velocidade do vento (CATTLEMAN; VALE, 2013). Por fim, as perdas de calor pelo corpo do animal por radiação correspondem à energia emitida através de ondas longas (SILVA, 2008).

Os mecanismos sensíveis de perda de calor são os mais eficientes quando há um maior gradiente de temperatura entre o corpo do animal e o ambiente. Entretanto, quando a temperatura do ar está elevada e há, portanto, um menor gradiente térmico entre o organismo e o meio, as vias insensíveis ou evaporativas de dissipação de calor tornam-se mais efetivas no processo termorregulatório, pois não dependem da intensidade desse gradiente (NÓBREGA et al., 2011; SILVA, 2000).

Todavia, a umidade do ar também é essencial na dissipação de calor pelo organismo do animal, pois, um ambiente quente e muito úmido prejudica as perdas evaporativas, as quais são bem mais eficientes em locais quentes e secos (BOHMANOVA; MISZTAL; COLE, 2007). Almeida e colaboradores (2011) citam que um ambiente quente e úmido, por prejudicar o resfriamento evaporativo, aumenta o desconforto dos animais, o que pode ser minimizado com uma maior velocidade do vento, pois ela favorece a dissipação de calor por convecção. Porém, este alívio proporcionado pela ação do vento é limitado, especialmente sob altos níveis de radiação solar (SILVA et al., 2010).

3.4 Variáveis fisiológicas e o estresse térmico

A capacidade dos animais de se desenvolverem em ambientes quentes está nas suas respostas compensatórias, as quais são parâmetros pesquisados na avaliação da adaptabilidade dos bovinos a um determinado ambiente (FONSECA et al., 2016). Essas respostas compensatórias são coordenadas pelos sistemas nervoso e endócrino e são influenciadas por diversos fatores, como a intensidade do estresse térmico, a adaptabilidade do animal ao calor, a idade, o sexo, a condição fisiológica e produtiva (LINHARES et al., 2015). Segundo Garner e colaboradores (2016), especialmente as alterações da frequência respiratória e da temperatura retal dos bovinos são

utilizadas para avaliar fisiologicamente a sua capacidade de resistir às condições de estresse por calor.

3.4.1 Frequência respiratória

Apesar da vasodilatação periférica e do aumento da sudorese serem as duas primeiras reações ao estresse por calor no organismo dos bovinos, a primeira resposta visível é o aumento da frequência respiratória, que objetiva eliminar o excesso de calor endógeno por evaporação (CATTLEMAN; VALE, 2013). Entre analisar a temperatura retal ou a frequência respiratória para quantificar o estresse térmico a que os bovinos estão expostos, esta última é bem mais sensível (BROWN-BRANDL et al., 2005). Linhares e colaboradores (2015) ainda citam que a avaliação da frequência respiratória é o mais indicado em pesquisas com animais jovens.

Contudo, há divergências na literatura sobre os valores de frequência respiratória que caracterizam uma situação em que os animais estejam expostos ao estresse por calor. Silanikove (2000) afirma que um intervalo de 40 a 60 movimentos respiratórios por minuto (mov.min^{-1}) caracteriza um estresse baixo, de 60 a 80 mov.min^{-1} um estresse médio, de 80 a 120 mov.min^{-1} um estresse médio-alto, de 120 a 150 mov.min^{-1} um estresse alto e a acima de 150 mov.min^{-1} um estresse por calor severo.

Outra classificação, de acordo com Pires e Campos (2004), é a seguinte: ausência de estresse (23 mov.min^{-1}); há estresse, mas está sob controle (45 a 65 mov.min^{-1}); início do estresse térmico (70 a 75 mov.min^{-1}); estresse acentuado (90 mov.min^{-1}); estresse severo com grandes perdas (100 a 120 mov.min^{-1}); estresse mortal, em que os animais não conseguem se alimentar ou beber água (acima de 120 mov.min^{-1}). Já Almeida Neto e colaboradores (2014) e Hahn, Parkhurst e Gaughan (1997) consideram simplesmente que o intervalo normal para vacas leiteiras é entre 18 e 60 mov.min^{-1} , indicando uma ausência de estresse por calor.

A dissipação de calor pelo trato respiratório depende da frequência respiratória e da relação entre a pressão de vapor do ar inspirado e do ar expirado (FONSECA et al., 2016). Tal mecanismo de termorregulação é bastante eficiente, pois se estima que, quando 1 grama de água evapora pelo processo respiratório, ocorre o consumo médio de 585 calorias (PINHEIRO et al., 2015). Entretanto, essa maior frequência respiratória requer energia e aumenta de 7 % para 25% a energia

necessária para a manutenção diária de vacas leiteiras, o que gera uma maior produção de calor endógeno (NASCIMENTO et al., 2013).

Além disso, o estresse por calor também pode gerar perdas hídricas significativas em função da sudorese e da taquipneia e, se elas não forem repostas adequadamente, pode ocorrer desidratação, dificuldades na termorregulação e menor desempenho animal (FERREIRA et al., 2009). Uma frequência respiratória elevada e por um período prolongado ainda pode prejudicar a ingestão de matéria seca e a ruminação (LINHARES et al., 2015), causar uma redução na pressão sanguínea de CO₂ (gás carbônico) e aumentar o calor corporal devido ao trabalho acelerado dos músculos respiratórios (SILVA et al., 2010).

3.4.2 Temperatura retal

Segundo Silva (2000), a temperatura do corpo não é homogênea, pois há diferenças nas atividades metabólicas dos tecidos, sendo o reto a região que apresenta uma temperatura mais próxima à temperatura corporal. Esta é a diferença entre a energia térmica produzida mais a recebida pelo organismo animal e a energia térmica perdida para o meio (NÓBREGA et al., 2011). Portanto, a estratégia de termorregulação em mamíferos baseia-se em manter a temperatura corporal interna superior à temperatura do ar para que haja a dissipação de calor do organismo para o ambiente (COLLIER; DAHL; VANBAALE 2006).

A elevação da temperatura retal pode ser um indício de que os mecanismos de termorregulação tornaram-se ineficientes (GAUGHAM et al., 2000; MARTELLO et al., 2004). Contudo, é preciso lembrar que ela é influenciada por fatores extrínsecos, como hora do dia, temperatura do ar, radiação solar, ingestão de água, consumo de alimentos, e também por fatores intrínsecos, como idade, sexo, raça, adaptação ao calor, estado fisiológico e outros (PERISSINOTTO et al., 2009).

A temperatura retal fisiológica para bovinos adultos situa-se entre 38°C e 39,5°C (CATTLEMAN; VALE, 2013). Especificamente para o gado leiteiro, esse intervalo é um pouco menor, entre 38°C e 39,3°C (COSTA, A. N. L. et al., 2015). Porém, os animais que são ativos durante o dia apresentam uma temperatura retal mínima pela manhã, entre as 4 e 6 horas, e máxima à tarde, entre as 17 e 19 horas (de 0,5°C a 1,5°C mais elevada), ou seja, há um ritmo circadiano (ROBERTSHAW, 2006).

3.5 Zona de Termoneutralidade

Os animais possuem uma zona de termoneutralidade (ZTN), a qual é o intervalo de temperatura ambiente em que há um gasto mínimo de energia com a termorregulação, resultando em maior aporte de energia para os processos produtivos (BERNABUCCI et al., 2010). Na ZTN a regulação da temperatura corporal ocorre apenas por mecanismos não-evaporativos, com uma taxa metabólica mínima e com uma pequena participação do sistema termorregulador (DA SILVA; CAMPOS MAIA, 2013).

Essa ZTN é delimitada pela temperatura crítica superior e pela temperatura crítica inferior. Quando a temperatura ambiente ultrapassa esses limites, surge, respectivamente, o estresse pelo calor ou pelo frio. Em seguida, caso a temperatura ambiente atinja valores ainda mais extremos, o animal já não é mais capaz de sustentar a sua homeotermia, mesmo alterando a sua taxa metabólica e ativando efetivamente o seu sistema termorregulador. Por fim, surge um quadro de hipertermia ou hipotermia, com uma intensidade proporcional à temperatura ambiente e que tende a evoluir para o óbito do animal (DA SILVA; CAMPOS MAIA, 2013).

Na literatura, existe uma grande variação sobre as temperaturas críticas superior e inferior da ZTN, pois o conforto térmico dos animais depende de vários fatores, como a espécie animal, a raça, as características da pele e do pelame, a adaptação ao calor ou ao frio, a idade, o metabolismo e o período produtivo do animal, dentre outros (ALMEIDA et al., 2011; PORCIONATO et al., 2009). De uma maneira geral, os bovinos especializados na produção de leite apresentam uma ZTN entre 4°C e 26°C (LINHARES et al., 2015; PERISSINOTTO et al., 2009).

Porém, para vacas leiteiras mestiças, a temperatura crítica superior pode atingir os 29°C (LINHARES et al., 2015; PERISSINOTTO et al., 2009). Já Silva (2000) afirma que esse intervalo de temperatura ambiente ideal para bovinos zebuínos está entre 7°C e 35°C. Miranda e Freitas (2009) propõem o intervalo de -1°C a 21°C para as raças europeias, porém Nascimento e colaboradores (2013) citam que o limite da ZTN é de 0°C a 16°C para bovinos leiteiros de origem europeia, de 10°C a 27°C para animais zebuínos e de 5°C a 31°C para animais mestiços.

3.6 Índices de estresse térmico para a bovinocultura de leite

O ambiente térmico pode ser analisado de várias maneiras, entretanto, o mais comum é a utilização dos índices de estresse térmico, os quais expressam numericamente a situação a que os animais estão expostos (RODRIGUES, SOUZA, PEREIRA FILHO, 2010). Tais índices são desenvolvidos para avaliar conjuntamente duas ou mais variáveis do ambiente térmico e devem considerar as características inerentes a cada espécie animal, o tipo de ambiente (aberto ou fechado) e a importância relativa de cada variável empregada (MARTELLO et al., 2004).

Quando analisados corretamente, os índices de estresse térmico podem auxiliar os produtores a adequarem o manejo para minimizar os efeitos negativos oriundos do estresse por calor (BERMAN et al., 2016). Porém, Silva, Maia e Costa (2015) alertam para o fato da maioria dos índices terem sido criados em regiões temperadas e com base em animais adaptados às mesmas, cujas condições climáticas são bem distintas das regiões tropicais, especialmente com relação à radiação solar. Assim, é necessário cautela para uma correta interpretação dos seus valores críticos.

3.6.1 Índice de Temperatura e Umidade

O índice de temperatura e umidade (ITU) foi criado por Thom (1959) como um índice de conforto térmico para humanos e relaciona temperatura e umidade relativa do ar. Até hoje, é o índice mais empregado nos estudos de avaliação do estresse por calor no gado leiteiro (MACCIOTTA et al., 2017). Entretanto, vários autores já demonstraram que este índice, por considerar apenas essas duas variáveis do ambiente térmico, possui uma limitação em representar de forma mais ampla as condições ambientais a que os animais estão expostos (SEGNALINI et al., 2013).

De toda forma, a obtenção deste índice é prática, de baixo custo e pode ser executada a partir das medições realizadas em qualquer momento do dia por um termohigrômetro (SOUZA et al., 2010). O ITU é estimado pela seguinte equação de acordo com Thom (1959):

$$ITU = T_A + 0,36 T_{PO} + 41,5$$

Em que:

T_A : temperatura ambiente, em °C (bulbo seco);

T_{PO} : temperatura de ponto de orvalho, em °C.

Bohmanova, Misztal e Cole (2007) relatam que, devido às diferentes sensibilidades das espécies animais à temperatura ambiente e à umidade relativa, foram desenvolvidas distintas equações para o cálculo do ITU e afirmam, por exemplo, que a equação sugerida pelo National Research Council (NRC, 1971); $ITU = (1,8T_A + 32) - (0,55 - 0,0055UR) (1,8T_A - 26)$; é mais adequada para avaliar o estresse térmico em animais criados em locais abertos. Nessa mesma pesquisa, os autores ainda compararam 7 fórmulas distintas do ITU e concluíram que a umidade foi o fator limitante em climas úmidos e a temperatura do bulbo seco em climas secos.

Há diferentes classificações para os valores de ITU na literatura e se deve ter cautela ao adotar os limites críticos do índice, pois eles podem variar conforme as características dos animais, ordem de parto, características da região geográfica considerada, dentre outros fatores (BIFFANI et al., 2016). Inclusive, a maioria desses valores críticos são determinados em pesquisas desenvolvidas em regiões temperadas e com bovinos menos adaptados ao calor (FONSECA et al., 2016), condições opostas às do Brasil.

Thom (1959) estipulou como desconfortáveis os valores de 70 a 74, como muito desconfortáveis de 75 a 79 e como seriamente desconfortável acima de 80. Porém, para Ravagnolo, Misztal e Hoogenboom (2000), o início do estresse por calor ocorre com valores de ITU superiores a 72. Já para Zimbelman e outros (2009) e para Silva e colaboradores (2015), esse valor crítico para animais de alta produção é igual ou superior a 68.

Porém, Azevedo e colaboradores (2005), baseados na frequência respiratória de vacas dos grupos genéticos 1/2, 3/4 e 7/8 Holandês-Zebu, estimaram os valores críticos de ITU aqueles superiores a 79, 77 e 76, respectivamente. Tal resultado é compreensível, pois, quanto maior é a produção de leite, mais as vacas se tornam sensíveis ao estresse por calor e, assim, menor é a temperatura ambiente a partir da qual se iniciam as perdas na produção. Já segundo Mollo Neto e Naas (2014), um ITU até 74: normal; entre 75 e 78: alerta; entre 79 e 83: perigo; e maior que 84: emergência. Por fim, Costa, A. N. L. e colaboradores (2015) consideraram os valores menores que 70 como sem estresse, de 70 a 72 estado de alerta, de 72 a 78 crítico, de 78 a 82 perigoso e acima de 82 estado de emergência.

3.6.2 Índice de Globo Negro e Umidade

O índice de globo negro e umidade (IGNU) foi desenvolvido por Buffington e colaboradores (1981) para vacas leiteiras expostas à radiação solar direta e indireta e se baseia na associação das medidas da temperatura de globo negro e temperatura do ponto de orvalho. A frequência respiratória e a temperatura retal são diretamente proporcionais ao IGNU, já a produção leiteira e a eficiência reprodutiva são inversamente relacionadas ao mesmo (NASCIMENTO et al., 2013).

A desvantagem no uso do IGNU é a ausência de medições da temperatura de globo negro nas estações meteorológicas do país, sendo de difícil uso para os produtores. Já o ITU utiliza apenas a temperatura e a umidade relativa do ar, que são dados facilmente encontrados. Portanto, o ITU é um índice de estresse térmico mais simples e mais acessível (SILANIKOVE, 2000). Porém, o IGNU é considerado mais preciso que o ITU para exprimir o desconforto pelo calor, pois, ao invés da temperatura do bulbo seco, utiliza a temperatura de globo negro, a qual combina os efeitos da energia radiante, temperatura do ar e velocidade do vento (AZEVEDO; ALVEZ, 2009).

A equação para cálculo do IGNU é (BUFFINGTON et al., 1981):

$$\text{IGNU} = T_G + 0,36 T_{PO} + 41,5$$

Em que:

T_G : temperatura de globo negro, em °C;

T_{PO} : temperatura de ponto de orvalho, em °C.

Os valores de IGNU até 74 caracterizam um conforto térmico para bovinos, entre 75 e 78 a situação é classificada como alerta, entre 79 e 84 caracteriza perigo e, acima de 84, já é considerada uma emergência (BAÊTA; SOUZA, 2010).

3.6.3 Índice de Temperatura Equivalente

Silva, Morais e Guilhermino (2007) consideram o índice de temperatura equivalente (ITE) como um dos mais precisos na avaliação do conforto térmico de animais em regiões tropicais. De

acordo com Baêta e Souza (2010), o ITE foi desenvolvido por Baêta e colaboradores (1987) e inicialmente era utilizado para avaliar o conforto ambiental de vacas holandesas pretas e brancas em câmara climática. O índice avalia conjuntamente os efeitos da temperatura, umidade relativa e velocidade do vento em um único valor e é obtido pela equação a seguir (BAÊTA et al., 1987):

$$\text{ITE} = 27,88 - 0,456T_A + 0,107547T_A^2 - 0,4905UR + 0,0008UR^2 + 1,1507V - 0,126447V^2 + 0,0198767 T_AUR - 0,046313T_AV$$

Em que:

T_A : temperatura ambiente, em °C (bulbo seco);

UR: umidade relativa do ar, em %;

V: velocidade do vento, em m.s^{-1} .

A criação do ITE foi a partir de uma pesquisa desenvolvida em câmara climática com 5 vacas da raça Holandesa, de alta produção e expostas a temperaturas entre 15°C e 41°C, umidade relativa entre 40% e 90% e vento de até 6,5 m.s^{-1} . Todos os animais possuíam pelame de verão. Os resultados mostraram que um aumento do ITE, desde uma temperatura neutra até 41°C, causava uma redução de 38,3% na produção de leite e gerava uma temperatura retal elevada de 40,8°C. Como conclusão, foi construída a seguinte escala para os valores de ITE: ausência de problemas (ITE: 18 a 27), cautela (ITE: 27 a 32), cautela extrema (ITE: 32 a 38), perigo (ITE: 38 a 44) e perigo extremo (ITE > 44) (BAÊTA et al.; 1987). Silva, Moraes e Guilhermino (2007), entretanto, notaram que, para vacas holandesas já bem adaptadas ao ambiente tropical, as categorias de ITE podem ser assim estabelecidas: seguro (ITE < 30), cautela (ITE: 30 a 34), cautela extrema (ITE: 34 a 38), perigo (ITE > 38).

3.6.4 Índice de Estresse Térmico

Foi proposto por Moran e outros (2001) um novo índice denominado “Índice de Estresse Térmico (IET)” ou “Índice de Estresse Ambiental (IEA)”. Este foi considerado muito eficiente para avaliar o conforto térmico em seres humanos. O método para o seu cálculo é baseado em três

diferentes parâmetros relacionados ao calor, são eles: temperatura ambiente, umidade relativa e radiação solar. O IET é definido por meio da equação (MORAN et al., 2001):

$$IET = 0,63T_A - 0,03UR + 0,002S + 0,0054(T_A \times UR) - 0,073(0,1 \times S)^{-1}$$

Onde:

T_A : temperatura ambiente, em °C;

UR: umidade relativa do ar, em %;

S: radiação solar, em $W.m^{-2}$.

3.6.5 Índice de Frequência Respiratória

O índice de frequência respiratória (IFR) foi desenvolvido para gado de corte em confinamentos abertos (expostos ao sol) e em confinamentos cobertos, sendo dado pelas seguintes equações (EIGENBREG et al., 2002, EIGENBREG; NIENABER; BROWN-BRANDL, 2003):

a) Animais expostos ao sol, temperatura ambiente maior que 25°C:

$$IFR = 5,4 T_A + 0,58 UR - 0,63V + 0,024S - 110,9$$

b) Animais à sombra, temperatura ambiente maior que 25°C:

$$IFR = 2,8 T_A + 0,39UR - 0,36V + 0,064S - 30,0$$

Em que:

T_A : temperatura ambiente, em °C (bulbo seco);

UR: umidade relativa do ar, em %;

V: velocidade do vento, em $m.s^{-1}$;

S: radiação solar, em $W.m^{-2}$.

3.6.6 Índice de Carga Térmica

O índice de carga térmica (ICT) foi proposto por Gaughan e colaboradores (2002) e considera a taxa de radiação pelo uso da temperatura do globo negro, a umidade relativa e a velocidade do vento. Porém, no lugar da temperatura de globo negro, pode-se usar um preditor da mesma para tornar o índice mais acessível aos criadores, que dificilmente têm acesso aos globos negros (SILVA, 2008). Sua equação é a seguinte (GAUGHAN et al., 2002):

$$ICT = 33,2 + 0,2 UR + 1,2 T_G' - (0,82 V)^{0,1} - \log (0,4 V^2 + 0,0001)$$

$$T_G' = 1,33T_A - 2,65 T_A^{1/2} + 3,21 \log (S + 1) + 3,5$$

Onde:

T_G' : preditor da temperatura de globo negro, em °C;

T_A : temperatura ambiente, em °C;

UR: umidade relativa do ar, em %;

V: velocidade do vento, em m.s⁻¹;

S: radiação solar, em W.m⁻².

O ICT foi desenvolvido para gado de corte de raças européias sob confinamento na Austrália, onde as temperaturas ambientes superam os 28°C (GAUGHAN et al., 2002). Posteriormente, Gaughan e colaboradores (2008) revisaram o ICT e estabeleceram duas novas equações, baseadas no limiar de ofegação em gado Angus, sem sombreamento e para temperatura de globo negro superior ou inferior a 25°C:

a) $T_G > 25^\circ\text{C}$:

$$ICT = 8,62 + (0,38 \times UR) + (1,55 \times T_G) - (0,5 \times V) + [e^{2,4-V}]$$

b) $T_G < 25^\circ\text{C}$:

$$ICT = 10,66 + (0,28 \times UR) + (1,3 \times T_G) - V$$

Onde:

T_G : temperatura de globo negro, em °C;

UR: umidade relativa do ar, em %;

V: velocidade do vento, em $m.s^{-1}$;

e: base do logaritmo natural = 2,71828.

Silva, Moraes e Guilhermino (2007) relataram uma correlação de 0,286 entre o ICT e a temperatura retal e de 0,542 entre o ICT e a frequência respiratória. Assim, sugeriram uma escala para o seu emprego nas condições de altas temperaturas, radiação solar intensa e umidade relativa do ar baixa ou moderada: situação normal (ICT<89), cautela (ICT: 89-92), extrema cautela (ICT: 92-95) e perigo (ICT>95).

3.6.7 Índice de Especificação Ambiental

Silva e colaboradores (2010) desenvolveram o índice de especificação ambiental (IEA), o qual é adequado para a caracterização de ambientes destinados à criação de vacas leiteiras em regiões tropicais secas ou relativamente úmidas, com altos níveis de radiação solar.

O IEA é dado pela seguinte equação (SILVA et al., 2010):

$$IEA = 30,114 - 0,1448T_A + 0,52855V + 1,067p_v + 0,0198T_G$$

Em que:

T_A : temperatura ambiente, em °C;

V: velocidade do vento, em $m.s^{-1}$;

p_v : pressão parcial de vapor, em kPa;

T_G : temperatura de globo negro, em °C.

3.6.8 Índice de Conforto Térmico para Bovinos de Leite

Tonello (2011) desenvolveu em sua pesquisa o índice de conforto térmico para bovinos de leite (ICTbl), o qual correlaciona a temperatura do ar, temperatura do globo negro, pressão parcial de vapor e velocidade do vento. Tal índice é obtido pela seguinte equação (TONELLO, 2011):

$$ICTbl = 0,6354T_A + 0,6312T_G + 0,4438p_v + 0,0310V$$

Em que:

T_A : temperatura do ar, em °C (bulbo seco);

T_G : temperatura de globo negro, em °C;

p_v : pressão parcial de vapor, em kPa;

V : velocidade do vento, em $m.s^{-1}$.

Por correlacionar as quatro variáveis ambientais supracitadas, o emprego do ICTbl é mais confiável na avaliação do conforto do ambiente do que o uso isolado de qualquer uma delas. Além disso, quando comparado com os índices ambientais mais utilizados, o ICTbl foi o que apresentou a maior correlação com a temperatura retal, com a frequência respiratória e com o nível de produção de vacas holandesas no sul do país. Logo, foi caracterizado como o índice mais eficiente para a avaliação do estresse pelo calor (TONELLO, 2011).

3.6.9 Índice Climático Compreensivo

Mader, Johnson e Gaughan (2010) desenvolveram o índice climático compreensivo (ICC), o qual pode ser aplicado a uma grande variedade de condições ambientais e que, além disso, apresenta uma adequação da temperatura ambiente à umidade relativa, velocidade do vento e radiação solar, combinando seus efeitos. O ICC também considera a influência das superfícies em torno do animal na troca de calor com o ambiente e é obtido pela equação a seguir (MADER; JOHNSON; GAUGHAN, 2010):

$$ICC = T_A + [Eq.1] + [Eq.2] + [Eq.3]$$

Equação 1: *Fator de Correção da UR* = $e^{0,00182 \times UR + 1,8 \times 10^{-5} \times T_A \times UR} \times (0,000054 \times TA^2 + 0,00192 \times TA - 0,0246) \times (UR - 30)$

Equação 2: *Fator de Correção da V* = $\left[-6,56 \div e^{\left\{ 1 \div (2,26 \times V + 0,23)^{0,45 \times (2,9 + 1,14 \times 10^{-6} \times V^{2,5} - \log_{0,6}(2,26 \times V + 0,66)^{-2}) \right\}} \right] - 0,00566 \times V^2 + 3,33$

Equação 3: *Fator de Correção da S* = $0,0076 \times S - 0,00002 \times S \times Ta + 0,00005 \times Ta^2 \times \sqrt{S} + 0,1 \times Ta - 2$

Em que:

T_A : temperatura do ar, em °C;

UR: umidade relativa do ar, em %;

V: velocidade do vento, em m.s⁻¹;

S: radiação solar, em W.m⁻².

Tal índice pode ser aplicado para avaliar o estresse por calor ou por frio, assumindo valores positivos e negativos. No seu desenvolvimento foram consideradas temperaturas de -30°C (V= 9 m/s, S=100 W.m⁻² e UR= 80%) a 45°C (V= 1 m/s, S=900 W.m⁻² e UR= 80%) e o ICC variou de -44,1 a 67,7. A seguinte escala foi proposta pelos autores para o estresse por calor: sem estresse (<25), estresse leve (25 a 30), estresse moderado (30 a 35), estresse grave (35 a 40), estresse extremo (40 a 45) e perigo extremo (>45) (MADER; JOHNSON; GAUGHAN, 2010).

3.6.10 Índice de Estresse Térmico para Vacas

Usualmente, os índices de estresse térmico basearam-se principalmente na temperatura e na umidade do ar. Contudo, hoje se reconhece a grande participação da radiação térmica na geração do estresse por calor, em especial nas regiões quentes. Assim, o índice de estresse térmico para vacas (IETV) foi criado para vacas leiteiras criadas em regiões intertropicais, especialmente as semi-áridas e enfatiza os efeitos da radiação solar sobre os animais. (SILVA; MAIA; COSTA, 2015).

O IETV é dado pela seguinte equação (SILVA; MAIA; COSTA, 2015):

$$\text{IETV} = 77,1747 + 4,8327T_A - 34,8189V + 1,111V^2 + 118,6981 p_v - 14,7956p_v^2 - 0,1059 \text{ERHL}$$

Em que:

T_A : temperatura do ar, em °C (bulbo seco);

V : velocidade do vento, em $m.s^{-1}$;

p_v : pressão parcial de vapor, em kPa;

ERHL: Carga Térmica de Radiação Efetiva.

A ERHL é obtida pela equação:

$$ERHL = 0,5S + \sigma T_{RM}^4$$

Onde:

S : radiação solar, em $W.m^{-2}$;

σ : $5,67 \times 10^{-8} W m^{-2} K^{-4}$, é a constante de Stefan-Boltzmann;

T_{RM} : temperatura radiante média, em K.

Foi definida uma escala com 5 estágios: conforto (≤ 150), desconforto leve (151-200), desconforto (201-250), estresse (251-350) e perigo (≥ 350). Quando o ITSC assume um valor acima de 200 (desconforto), já são necessárias algumas modificações para minimizar as consequências do estresse por calor sobre vacas leiteiras: fornecimento de sombras (naturais ou artificiais), alojar os animais nas horas mais quentes do dia, optar por instalações que favoreçam o fluxo de ar, com uma cobertura adequada contra as principais fontes de radiação e com dispositivos de aspersão de água e ventilação artificial (SILVA; MAIA; COSTA, 2015).

3.7 Origem das variáveis do ambiente térmico

Para o cálculo dos índices supracitados, grande parte dos estudos empregam as variáveis do ambiente térmico oriundas de estações meteorológicas oficiais (LUDOVICO et al., 2015; MENDONÇA; MANTELO; STEVENSON, 2017; VITALI et al., 2015). Porém, ainda não está claro se esses dados realmente representam as condições existentes na propriedade rural (RAVAGNOLO; MISZTAL; HOOGENBOOM, 2000), especialmente em regiões tropicais e com animais criados a pasto.

Algumas pesquisas recentes (SCANAVEZ et al., 2016; SCHULLER; BURFEIND; HEUWIESER, 2013; SHOCK et al., 2016) mostraram que os dados de estações meteorológicas oficiais, geralmente localizadas nas cidades, foram distintos daqueles obtidos em fazendas leiteiras com sistemas intensivos de criação, subestimando os efeitos do estresse térmico a que os animais estavam expostos. Porém, nesses estudos, as variáveis ambientais da propriedade rural não foram obtidas no pasto, mas, sim, exclusivamente dentro de instalações, pois os animais eram confinados no sistema *freestall* ou *tiestall*, com acesso ao pasto limitado a apenas algumas horas por dia, sendo a ordenha e a alimentação realizadas dentro das instalações.

Portanto, Schuller, Burfeind e Heuwieser (2013) ressaltaram que são necessárias pesquisas que avaliem se as condições climáticas a pasto também diferem dos dados climáticos de uma estação meteorológica oficial próxima assim como ocorreu nas criações em confinamento. Além disso, todas as pesquisas supracitadas foram desenvolvidas em regiões temperadas, Estados Unidos, Alemanha e Canadá, respectivamente, e não há pesquisas similares em regiões tropicais como o Brasil.

Em geral, as estações meteorológicas oficiais são localizadas na zona urbana e, apesar do fenômeno “ilhas de calor”, em que vários pontos da cidade apresentam temperaturas médias mais elevadas que a zona rural circundante (GARTLAND, 2010), Mendonça e Dubreuil (2005) afirmaram que há um maior aquecimento nas propriedades rurais e o relacionam principalmente com a maior radiação solar sobre as mesmas. Nas cidades, as áreas construídas e a névoa seca gerada pela poluição exercem um “efeito sombra” e interceptam boa parte dos raios solares (AMORIM, 2012), o que tende a diminuir a sua temperatura ambiente (LANDSBERG, 2006)

A zona rural, por ter menos construções, especialmente nos pastos, recebe os raios solares diretamente desde o nascer do sol e as gramíneas possuem um elevado coeficiente de reflexão, devolvendo o calor para a atmosfera de maneira mais rápida (VIANA; AMORIM, 2008). Esse coeficiente de reflexão da superfície para a radiação de onda curta é denominado albedo da superfície ou poder refletor da superfície (ARYA, 1998). As florestas, por exemplo, apresentam um albedo médio de 10 a 12%, enquanto a pastagem e a maioria das culturas agrícolas possuem um albedo médio maior, de 18 a 25% (LIMA, 1996).

Por outro lado, ao anoitecer, as temperaturas mínimas tendem a ser mais elevadas nas zonas urbanas, pois o calor retido pelas edificações e pavimentos na cidade é dissipado de maneira mais lenta do que ocorre no campo, onde a grama resfria rapidamente, especialmente por apresentar um

baixo calor específico (GARTLAND, 2010; LANDSBERG, 2006). A zona urbana ainda pode apresentar áreas com diferentes temperaturas, o que depende principalmente se há uma maior predominância de espaços livres, vegetados ou de áreas construídas nas diferentes regiões do perímetro urbano (ELIASSON, 2000).

Por fim, referente à umidade relativa, as cidades tendem a apresentar valores inferiores aos da zona rural, especialmente pela escassa vegetação e pelo solo impermeável (LANDSBERG, 2006). Já o campo, por possuir vegetações como a pastagem, que favorecem a infiltração e retenção da água da chuva, possui maiores níveis de umidade relativa (GOMES, MARTIN, AMORIM, 2016).

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, G. L.; PANDORFI, H.; GUISELINI, C.; HENRIQUE, H. M.; ALMEIDA, G. A. P. Uso do sistema de resfriamento adiabático evaporativo no conforto térmico de vacas da raça girolando. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 7, p. 754-760, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011000700015>
- ALMEIDA NETO, L. A.; PANDORFI, H.; ALMEIDA, G. L.; GUISELINI, C. Climatização na pré-ordenha de vacas girolando no inverno do semiárido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 10, p. 1072-1078, 2014. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18n10p1072-1078>
- AMORIM, M. C. C. T. A produção do clima urbano em ambiente tropical: o exemplo de Presidente Prudente/SP. **Revista GeoNorte**, v. 3, n. 9, p. 52-64, 2012.
- ARYA, S. P. **Introduction to micrometeorology**. North Carolina: International Geophysics Series – Academic Press, 1998. 33 p.
- AZEVEDO, D. M. M. R.; ALVES, A. A. **Bioclimatologia aplicada à produção de bovinos leiteiros nos trópicos**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2009. 83 p.
- AZEVEDO, M.; PIRES, M. F. A.; SATURNINO, H. M.; LANA, A. M. Q.; SAMPAIO, I. B. M.; MONTEIRO, J. B. N.; MORATO, L. E. Estimativa de níveis críticos superiores do índice de temperatura e umidade para vacas leiteiras 1/2, 3/4, 7/8 Holandês-Zebu em lactação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, n. 6, p. 2000-2008, novembro/dezembro 2005. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982005000600025>
- BAÊTA, F.C.; MEADOR, N.F.; SHANKLIN, M.D. JOHNSON, H. D. Equivalent temperature index at temperatures above the thermoneutral for lactating cows. In: MEETING OF THE AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS, 1987, Baltimore. **Proceedings...** Baltimore: American Society of Agricultural Engineers, 1987. p.21.
- BAÊTA, F. C.; SOUZA, C. F. **Ambiência em edificações rurais: Conforto animal**. 2.ed. Viçosa: EDUFV, 2010. 269p.
- BARHEMA, H. W.; VON KEYSERLINGK, M. A.; KASTELIC, J. P.; LAM, T. J.; LUBY, C.; ROY, J. P.; LEBLANC, S. J.; KEEFE, G. P.; KELTON, D. F. Invited review: Changes in the dairy industry affecting dairy cattle health and welfare. **Journal of Dairy Science**, v. 98, n. 11, p. 7426-7445, November 2015. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9377>
- BERMAN, A.; HOROVITZ, T.; KAIM, M.; GACITUA H. A comparison of THI indices leads to a sensible heat-based heat stress index for shaded cattle that aligns temperature and humidity stress. **International Journal of Biometeorology**, v. 60, n. 10, p. 1453-1462, October 2016. <https://doi.org/10.1007/s00484-016-1136-9>

BERNABUCCI, U.; LACETERA, N.; BAUMGARD, L.H.; RHOADS, R. P. Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. **Animal**, v. 7, n. 1, p. 1167-1183, July 2010. <https://doi.org/10.1017/S175173111000090X>

BIFFANI, S.; BERNABUCCI, U.; VITALI, A.; LACETERA, N.; NARDONE, A. Effect of heat stress on nonreturn rate of Italian Holstein cows. **Journal of Dairy Science**, v. 99, n. 7, p. 5837-5843, July 2016. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10491>

BOHMANOVA, J.; MISZTAL, I.; COLE, J. B. Temperature-humidity indices as indicators of milk production losses due to heat stress. **Journal of Dairy Science**, v. 90, n. 4, p. 1947-1956, April 2007. <https://doi.org/10.3168/jds.2006-513>

BROWN-BRANDL, T. M.; EIGENBERG, R. A.; HAHN, G. L.; NIENABER, J. A.; MADER, T. L.; SPIERS, D. E. AND PARKHURST, A. M. Analyses of thermoregulatory responses of feeder cattle exposed to simulated heat waves. **International Journal of Biometeorology**, v. 49, n. 5, p. 285-296, May 2005. <https://doi.org/10.1007/s00484-004-0250-2>

BUFFINGTON, D. E.; COLLASSO-AROCHO, A.; CANTON, G. H.; PITT, D.; THATCHER, W. W.; COLLIER, R. J. Black globe-humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. **Transactions of the ASAE**, v.24, n.3, p. 711-714. May/June 1981. <https://doi.org/10.13031/2013.34325>

CATTLEMAN, J.; VALE, M. M. Estresse Térmico em Bovinos. **Revista Portuguesa de Ciências Veterinárias**, v. 108, n. 587-588, p. 96-102, dezembro 2013.

COLLIER, R. J.; DAHL, G. E.; VANBAALE, M. J. Major advances associated with environmental effects on dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v.89, n.4, p.1244-1253, April 2006. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72193-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72193-2)

COSTA, A. N. L.; FEITOSA, J. V.; MONTEZUMA, P. A.; SOUZA, P. T.; ARAÚJO, A. A. Rectal temperatures, respiratory rates, production, and reproduction performances of crossbred Girolando cows under heat stress in northeastern Brazil. **International Journal of Biometeorology**, v. 59, n. 11, p. 1647-1653, November 2015. <https://doi.org/10.1007/s00484-015-0971-4>

COSTA, D. F.; SOUTO, D. V. O.; ROCHA, E. F.; GUIMARÃES, L. J.; SILVA, M. R.; SOUZA, B. B.; SILVA, G. A. Influência do estresse calórico na fisiologia hormonal de bovinos. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 11, n. 2, p. 33-38, abril/junho. 2015.

COSTA, M. D.; RUAS, J. R. M.; RODRIGUEZ, M. A. P.; NOGUEIRA, T. M.; VENTURINI, R. P. Análise da relação benefício-custo em sistema de produção de leite com animais mestiços no norte de Minas Gerais. **Boletim de Indústria Animal**, v. 73, n. 3, p. 244-251, 2016. <https://doi.org/10.17523/bia.v73n3p244>

DA SILVA, R. G.; CAMPOS MAIA, A. S. **Principles of Animal Biometeorology**. Heidelberg: Springer, 2013. 264p. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-5733-2>

DARCAN, N.; GÜNEY, O. Alleviation of climatic stress of dairy goats in Mediterranean climate. **Small Ruminant Research**, v.74, n. 1, p.212-215, January 2008.
<https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2007.02.007>

EIGENBERG, R.A.; BROWN-BRANDL, T.M.; NIENABER, J.A. HAHN, G. Dynamic response of feedlot cattle to shade and no-shade. In: MEETING OF THE AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS, 2002, St Joseph. **Proceedings...** St Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 2002. Paper nº. 024050.

EIGENBERG, R.A.; NIENABER, J.A.; BROWN-BRANDL, T.M. Development of a livestock safety monitor for cattle. In: MEETING OF THE AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS, 2003, St Joseph. **Proceedings...** St Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 2003. Paper nº. 032338. <https://doi.org/10.13031/2013.13837>

ELIASSON, I. The use of climate knowledge in urban planning. **Landscape and urban planning**, v. 48, n. 1, p. 31-44, April 2000. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(00\)00034-7](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(00)00034-7)

FERREIRA, F.; CAMPOS, W. E.; CARVALHO A. U.; PIRES, M. F. A.; MARTINEZ, M. L.; SILVA, M. V. G. B.; VERNEQUE, R. S.; SILVA, P. F. Taxa de sudção e parâmetros histológicos de bovinos submetidos ao estresse calórico. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.61, n.4, p.763- 768, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0102-09352009000400001>

FONSECA, V. D. F. C.; CÂNDIDO, E. P.; NETO, S. G.; SARAIVA, E. P.; FURTADO, D. A.; GAMA, J. P.; NASCIMENTO, G. V.; SARAIVA, C. A. S. A.; ALMEIDA, G. H. O. Thermoregulatory responses of sindhi and guzerat heifers under shade in a tropical environment. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 37, n. 6, p. 4327-4338, novembro/dezembro. 2016.

GARNER, J. B.; DOUGLAS, M. L.; WILLIAMS, S. O.; WALES, W. J.; MARETT, L. C.; NGUYEN, T. T. T.; REICH, C. M.; HAYES, B. J. Genomic selection improves heat tolerance in dairy cattle. **Scientific reports**, v. 6, p. 34114, September 2016.
<https://doi.org/10.1038/srep34114>

GARTLAND, L. **Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 248p.

GAUGHAN, J. B; HOLT, S. M.; HAHN, G. L.; MADER, T. L.; EIGENBERG, R. Respiration Rate – Is It a Good Measure of Heat Stress in Cattle? **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v.13, n. 3, p.329- 332, July 2000.

GAUGHAN, J. B.; MADER, T. L.; HOLT, S. M.; LISLE, A. A new heat load index for feedlot cattle. **Journal of Animal Science**, v. 86, n.1, p. 226–234, February 2008.
<https://doi.org/10.2527/jas.2007-0305>

GAUGHAN, J. B.; TAIT, L. A.; EIGENBERG, R.; BRYDEN, W. L. Effect of shade on respiration rate and rectal temperature of angus heifers. **Animal Production in Australia**, v.25, p.69–72, 2002.

GEBREMEDHIN, K. G.; WU, B.; PERANO, K. Modeling conductive cooling for thermally stressed dairy cows. **Journal of Thermal Biology**, v. 56, p. 91-99, February 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2016.01.004>

GOMES, M. R.; MARTIN, E. S.; AMORIM, M. C. T. Distribuição das temperaturas superficiais intraurbana em Caicó/RN. **Formação (Online)**, v. 3, n. 23, p. 286-300, maio/agosto 2016.

HAHN, G. L. Management and housing of farm animals in hot environments. In: **Stress physiology in livestock**. Boca Raton: CRC Press, 1985, p.151-174.

HAHN, G. L.; PARKHURST, A. M.; GAUGHAN, J. B. Cattle respiration rate as a function of ambient temperature. **Transactions of American Society of Agricultural Engineering**. v.40, p.97-121, 1997.

LANDSBERG, Helmut Erich. O clima das cidades. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 18, p. 95-111, 2006.

LIMA, W. P. **Impacto ambiental do eucalipto**. 2. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1996. 301 p.

LINHARES, A. S. F.; SOARES, D. L.; OLIVEIRA, N. C. T.; SOUZA, B. B.; DANTAS, N. L. B. Respostas fisiológicas e manejo adequado de ruminantes em ambientes quentes. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 11, n. 2, p. 27- 33, abril/junho 2015.

LUDOVICO, A.; MAION, V. B.; BRONKHORST, D. E.; GRECCO, F. D. A. C. R.; CUNHA FILHO, L. F. C.; MIZUBUTI, I. Y.; ALMEIDA, K. M.; LUDOVICO, M. S.; SANTANA, E. H. W. Perdas na produção e qualidade do leite devido contagem de células somáticas no leite e estresse térmico de vacas da raça Holandesa em clima temperado. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 5, p. 3455-3470, setembro/outubro 2015. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2015v36n5p3455>

MACCIOTTA, N. P. P.; BIFFANI, S.; BERNABUCCI, U.; LACETERA, N.; VITALI, A.; AJMONE-MARSAN, P.; NARDONE, A. Derivation and genome-wide association study of a principal component-based measure of heat tolerance in dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v. 100, n. 6, p. 4683-4697, June 2017. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12249>

MAIA, A. S. C.; SILVA, R. G.; NASCIMENTO, S. T.; NASCIMENTO, C. C. N.; PEDROZA, H. P.; DOMINGOS, H. G. T. Thermoregulatory responses of goats in hot environments. **International Journal of Biometeorology**, v. 59, n. 8, p. 1025-1033, August 2015. <https://doi.org/10.1007/s00484-014-0916-3>

MADER, T. L.; JOHNSON, L. J.; GAUGHAN, J. B. A comprehensive index for assessing environmental stress in animals. **Journal of Animal Science**, v. 88, n. 6, p.2153-2165, 2010. <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2586>

MARTELLO, L. S.; SAVASTANO JÚNIOR, H.; SILVA, S. L. DA; TITTO, E. A. L. Respostas fisiológicas e produtivas de vacas holandesas em lactação submetidas a diferentes ambientes.

Revista Brasileira de Zootecnia, v.33, n.1, p.181-191, janeiro/fevereiro 2004.

<https://doi.org/10.1590/S1516-35982004000100022>

MENDONÇA, F.; DUBREUIL, V. Termografia de superfície e temperatura do ar na RMC (região metropolitana de Curitiba/PR). **Revista RA'E GA - O Espaço Geográfico em Análise**, n. 9, p. 25-35, 2005.

MENDONÇA, L. G. D.; MANTELO, F. M.; STEVENSON, J. S. Fertility of lactating dairy cows treated with gonadotropin-releasing hormone at AI, 5 days after AI, or both, during summer heat stress. **Theriogenology**, v. 91, p. 9-16, 2017.

<https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.11.032>

MIRANDA, J. E. C.; FREITAS A. F. **Raças e tipos de cruzamentos para produção de leite**. Embrapa Gado de Leite, nº 98, 2009. Juiz de Fora, MG, Brasil.

MOLLO NETO, M.; NÄÄS, I. A. Software de agricultura de precisão para monitorar parâmetros ambientais de conforto térmico na bovinocultura de leite. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 8, n. 2, p. 112-127, 2014. <https://doi.org/10.18011/bioeng2014v8n2p112-127>

MORAN, D.S.; PANDOLF, K.B.; SHAPIRO, Y.; Y., HELED; Y., SHANI; Y., MATHEW; W. T.; GONZALEZ, R. R. An environmental stress index (ESI) as a substitute for the wet bulb globe temperature (WBGT). **Journal of Thermal Biology**, v.26, n. 4, p.427-431, September 2001.

[https://doi.org/10.1016/S0306-4565\(01\)00055-9](https://doi.org/10.1016/S0306-4565(01)00055-9)

NASCIMENTO, G. V. D.; CARDOSO, E. D. A.; BATISTA, N. L.; SOUZA, B. B. D.; CAMBUÍ G. B. Indicadores produtivos, fisiológicos e comportamentais de vacas de leite. **Agropecuária Científica no Semiárido**. v. 9, n. 4, p. 28-36, outubro/dezembro 2013.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). **A Guide to environmental research on animals**. Washington: National Academy of Science, 1971. 374 p.

NEVES, G. A. R.; NOGUEIRA, J. S.; BIUDES, M. S.; ARRUDA, P. H. Z.; MARQUES, J. B.; PALÁCIOS, R. S. Desenvolvimento e calibração de um termohigrômetro para uso em pesquisas de micrometeorologia, agrometeorologia e clima. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. 1, p. 136-143, 2015.

NIENABER, J. A.; HAHN, G. L.; EIGENBERG, R. A. Engineering and management practices to ameliorate livestock heat stress. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF THE CIGR. NEW TRENDS IN FARM BUILDINGS, 2., 2004, Evora, **Proceedings...** Evora, Portugal: GIGR, 2004. p.18.

NÓBREGA, G. H.; SILVA, E. M. N.; SOUZA, B. B.; MANGUEIRA, J. M. A produção animal sob a influência do ambiente nas condições do semiárido nordestino. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.6, n. 1, p.67-73, janeiro/março 2011.

PEREIRA, J. C. C. **Fundamentos de Bioclimatologia Aplicados à Produção Animal**. 1.ed. Belo Horizonte: FEPMVZ, 2005. 195p.

PERISSINOTTO, M.; MOURA, D. J.; CRUZ, V. F.; SOUZA, S. R. L.; LIMA, K. A.; MENDES, A. S. Conforto térmico de bovinos leiteiros confinados em clima subtropical e mediterrâneo pela análise de parâmetros fisiológicos utilizando a teoria dos conjuntos fuzzy. **Ciência Rural**, v.39, n.5, p.1492-1498, agosto 2009. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782009005000094>

PINHEIRO, A. C.; SARAIVA, E. P.; SARAIVA, C. A. S.; FONSECA, V. D. F. C.; ALMEIDA, M. E. V.; SANTOS, S. G. G. C.; AMORIM, M. L. C. M.; RODRIGUES NETO, P. J. Características anatomofisiológicas de adaptação de bovinos leiteiros ao ambiente tropical. **Agropecuária Técnica**, v. 36, n. 1, p. 280-293, 2015.

PIRES, M.F.A.; CAMPOS, A.T. **Modificações ambientais para reduzir o estresse calórico em gado de leite**. EMBRAPA, Juiz de Fora, MG, 2004. p.1-6. (Comunicado técnico, 42).

PORCIONATTO, M. A. F.; FERNANDEZ, A. M.; SARAN NETTO, A.; SANTOS, M. V. Influência do estresse calórico na qualidade e na produção de leite. **Revista Acadêmica Ciências Agrárias e Ambientais**, v.7, n.4, p.483-490, outubro/dezembro 2009.

RAVAGNOLO, O.; MISZTAL, I.; HOOGENBOOM, G. Genetic component of heat stress in dairy cattle, development of heat index function. **Journal of Dairy Science**, v. 83, n. 9, p. 2120-2125, September 2000. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(00\)75094-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(00)75094-6)

REZENDE, S. R.; MUNHOZ, S. K.; NASCIMENTO, M. R. B. M.; GUIMARÃES, J. L. N. Características de termorregulação em vacas leiteiras em ambiente tropical: revisão. **Veterinária Notícias**, v. 21, n. 1, p.18-29, janeiro/junho 2015.

ROBERTSHAW, D. **Regulação a temperatura e o ambiente térmico**. In: Dukes, Fisiologia dos animais domésticos, 12.ed. Rio de Janeiro. Guanabara. Koogan, 2006. p.897-908.

RODRIGUES, A. L.; SOUZA, B. B.; PEREIRA FILHO, J. M. Influência do sombreamento e dos sistemas de resfriamento no conforto térmico de vacas leiteiras. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 6, n. 2, p. 14-22, abril/junho 2010.

SCANAVEZ, A., ROCHA, L., VOELZ, B. E., HULBERT, L., MENDONÇA, L. Evaluation of Weather Information from On-Farm and Meteorological Stations to Assess Heat Stress in Dairy Cows in Southwest Kansas. **Kansas Agricultural Experiment Station Research Reports**, v. 2, n. 9, p. 2-7, 2016. <https://doi.org/10.4148/2378-5977.1323>

SCHULLER, L. K.; O. BURFEIND; W. HEUWIESER. Comparison of ambient temperature, relative humidity, and temperature-humidity index between on-farm measurements and official meteorological data. **Journal of Dairy Science**, v. 96, n. 12, p. 7731-7738, December 2013. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-6736>

SEGNALINI, M.; BERNABUCCI, U.; VITALI, A.; NARDONE, A.; LACETERA, N. Temperature humidity index scenarios in the Mediterranean basin. **International journal of biometeorology**, v. 57, n. 3, p. 451-458, May 2013. <https://doi.org/10.1007/s00484-012-0571-5>

SHOCK, D. A.; LEBLANC, S. J.; LESLIE KE, H. K.; GODKIN, M. A.; COE, J. B.; KELTON, D. F. Studying the relationship between on-farm environmental conditions and local meteorological station data during the summer. **Journal of Dairy Science**, v. 99, n. 3, p. 2169-2179, March 2016. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9795>

SILANIKOVE, N. Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. **Livestock Production Science**, v. 67, n.1, p.1-18, December 2000. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(00\)00162-7](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(00)00162-7)

SILVA, R. G. **Introdução à bioclimatologia animal**. São Paulo: Nobel, 2000. 286p.

SILVA, R. G. **Biofísica ambiental: os animais e seu ambiente**. Jaboticabal: Funep, 2008. 386 p.

SILVA, R. G.; MAIA, A. S. C.; COSTA, L. L. M. Index of thermal stress for cows (ITSC) under high solar radiation in tropical environments. **International Journal of Biometeorology**, v. 59, n. 5, p. 551-559, May 2015. <https://doi.org/10.1007/s00484-014-0868-7>

SILVA, R. G.; MORAIS, D. A. E. F.; GUILHERMINO, M. M. Evaluation of thermal stress indexes for dairy cows in tropical regions. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, n. 4, p. 1192-1198, julho/agosto 2007. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982007000500028>

SILVA, R. G.; MORAIS, D. A. E. F.; GUILHERMINO, M. M.; JUNIOR, N. L.; MAIA, A. S. C. Índices de Estresse Térmico para Vacas Leiteiras em Regiões Equatoriais Secas. **Revista Científica de Produção Animal**, v. 12, n. 2, p. 125-128, 2010. <https://doi.org/10.15528/2176-4158/rcpa.v12n2p125-128>

SILVA, R. G.; STARLING, J. M. C. Evaporação Cutânea e Respiratória em Ovinos sob Altas Temperaturas Ambientais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32, n. 6, p. 1956-1961, 2003. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982003000800020>

SOUZA, R.; SANTOS, G. T.; VALLOTO, A. A.; SANTOS, A. L.; GASPARINO, E.; SILVA, D. C.; SANTOS, W. B. R. Produção e qualidade do leite de vacas da raça Holandesa em função da estação do ano e ordem de parto. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 11, n. 2, p. 484-495, abril/junho 2010.

STARLING, J. M. C.; SILVA, R. G.; CERÓN-MUÑO, M.; BARBOSA, G.S. S.C.; COSTA, M.J.R.P. Análise de Algumas Variáveis Fisiológicas para Avaliação do Grau de Adaptação de Ovinos Submetidos ao Estresse por Calor. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, n. 5, p. 2070-2077, setembro/outubro 2002. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982002000800022>

TAKAHASHI, L. S.; BILLER, J. D.; TAKAHASHI, K. M. **Bioclimatologia zootécnica**. 2. ed. Jaboticabal: [s.n.], 2009. 91p.

THOM E.C. 1959. The discomfort index. **Weatherwise**. v. 12, n. 2, p. 57-61, 1959.
<https://doi.org/10.1080/00431672.1959.9926960>

TONELLO, C. L. **Validação de Índice de Conforto Térmico e Zoneamento Bioclimático da Bovinocultura de Leite**. 2011. 140f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2011.

TOSETTO, M. R.; ASSIS MAIA, A. P.; SARUBBI, J.; ZANCANARO, B. M. D.; DE LIMA, C. Z.; SIPPERT, M. R. Influence of macro-and microclimatic conditions on thermal comfort of dairy cows. **Journal of Animal Behaviour and Biometeorology**, v. 2, n. 1, p. 6-10, January 2014. <https://doi.org/10.14269/2318-1265.v02n01a02>

VIANA, S. S. M.; AMORIM, M. C. C. T. Caracterização do clima urbano em Teodoro Sampaio/SP: uma introdução. **Sociedade & Natureza**, v.20, n.2, p. 19-42, dezembro 2008.
<https://doi.org/10.1590/S1982-45132008000200002>

VITALI, A.; FELICI, A.; ESPOSITO, S.; BERNABUCCI, U.; BERTOCCHI, L.; MARESCA, C.; NARDONE, A.; LACETERA, N. The effect of heat waves on dairy cow mortality. **Journal of Dairy Science**, v. 98, n. 7, p. 4572-4579, July 2015. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9331>

ZIMBELMAN, R. B.; RHOADS, R. P.; RHOADS, M. L.; DUFF, G. C.; BAUMGARD, L. H. E; COLLIER, R. J. A re-evaluation of the impact of temperature humidity index (THI) and black globe humidity index (BGHI) on milk production in high producing dairy cows. In: ANNUAL SOUTHWEST NUTRITION AND MANAGEMENT CONFERENCE, 24., 2009, Arizona. **Proceedings...** Arizona: University of Arizona. Conf., 2009. p. 158–169.

CAPÍTULO 2

(Artigo publicado na Revista Acta Scientiae Veterinariae, v. 45, p. 1-8, 2017. Disponível em:

<<http://www.ufrgs.br/actavet/45/PUB%201486.pdf>>)

Melhor índice de estresse térmico para novilhas leiteiras mestiças

Most Appropriate Heat Stress Index for Half-blood Dairy Heifers

Patrícia Kelly de Moraes Brettas¹, Mara Regina Bueno de Mattos Nascimento², Ednaldo
Carvalho Guimarães³ & Gabriella Pereira Souza⁴

¹Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias, Faculdade de Medicina Veterinária,
Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia, MG, Brazil. ² Faculdade de Medicina
Veterinária, UFU, Uberlândia. ³Faculdade de Matemática, UFU, Uberlândia. ⁴Departamento de
Zootecnia, Faculdade de Medicina Veterinária, UFU, Uberlândia. CORRESPONDENCE: M. R.
B. M. Nascimento [maran@ufu.br - Tel.: +55 (34) 3225-8659]. Faculdade de Medicina Veterinária,
UFU. Av. Ceará, S/N. Bloco 2T, Umuarama, CEP 38405-900, Uberlândia, MG, Brazil.

ABSTRACT

Background: Heat stress indexes integrate several variables of the thermal environment in a single figure and predict their impact on animal welfare and performance. The correct interpretation of these indexes is of help in the choice of more adequate measures to attenuate the stress caused by the heat. Therefore, the aim of this research is to examine some of the heat stress indexes mentioned in the literature and to decide which ones best reflect the potential impact of meteorological conditions on the thermal homeostasis of half-blood dairy heifers bred in Uberlândia, Triângulo Mineiro area, Minas Gerais, Brazil.

Materials, Methods & Results: Eight half-blood dairy heifers were exposed to direct sunlight from 9h00 to 13h00 in the months of November and December of 2016, and also January and February of 2017, 5 days per month on average, in Uberlândia, MG, Brazil. After this challenge, the respiratory rate and the rectal temperature were measured. Simultaneously to the collection of physiological variables, the temperatures of dry bulb and wet bulb, as well as that of black globe,

were quantified, as was the wind speed. Afterwards, the solar radiation, the relative humidity, the mean radiant temperature and some heat stress indexes were calculated, the latter being Temperature-Humidity Index, Black Globe-Humidity Index, Equivalent Temperature Index, Environmental Stress Index, Respiratory Rate Index, Thermal Load Index, Environmental Specification Index, Thermal Comfort Index for Dairy Cattle, Comprehensive Climate Index and Cattle Heat Stress Index. These indexes were, then, correlated with the physiological variables. The averages of room temperature, black globe temperature, solar radiation, wind speed, radiant temperature and relative humidity were, respectively, 29.96°C, 41.73°C, 831.02W/m², 0.11 m/s⁻¹, 318.14K and 50.51%. Rectal temperature averaged 38.8°C while respiratory rate averaged 41.97 breaths per minute⁻¹. Correlating the 10 heat stress indexes with these two physiological variables, it was verified that the highest values, with a confidence of 95%, were demonstrated by the Equivalent Temperature Index (0.200 and 0.317, respectively), followed by the Cattle Heat Stress Index (0.186 and 0.314, respectively).

Discussion: Room temperature was within the thermoneutral zone for half-blood dairy cattle. Nevertheless, the mean radiant temperature and the black globe temperature were higher, due to intense solar radiation. Wind speed was not very expressive and relative humidity was close to what was required. The average values of rectal temperature and respiratory rate were normal, which indicated the heifers are adapted to the thermal environment. Regarding the heat stress indexes, the Equivalent Temperature Index was recommended, as it presented the highest amount of meaningful correlations with the physiological variables, followed by the Cattle Heat Stress Index and the Environmental Stress Index. The average value of the Equivalent Temperature Index remained in the “caution” category, according to the literature’s two existing scales for interpretation of said index’s results, indicating the occurrence of stress by heat, albeit not severe. In conclusion, the Equivalent Temperature Index is considered the most appropriate heat stress

index for evaluating a heat stress situation in half-blood dairy heifers bred in Uberlândia, Triângulo Mineiro, followed by the Cattle Heat Stress Index and the Environmental Stress Index.

Keywords: heat stress, respiratory rate, dairy cattle, rectal temperature

Descritores: estresse por calor, frequência respiratória, gado leiteiro, temperatura retal

INTRODUÇÃO

A temperatura ambiente elevada pode gerar perdas na produção e na reprodução animal. Porém, a radiação solar, velocidade do vento e umidade do ar, também podem influenciar o equilíbrio térmico [25]. Para integrar essas medidas em um único valor, há os índices de estresse térmico, cuja finalidade é prever o impacto do ambiente térmico no bem-estar e no desempenho animal [19]. A sua correta interpretação auxilia na escolha das medidas mais adequadas para a atenuação dos efeitos do estresse por calor [3,24].

Vários índices já foram propostos, o primeiro foi o Índice de Temperatura e Umidade [30], que é muito utilizado até hoje. Porém, ele não leva em consideração a velocidade do vento e a radiação solar, fatores importantes na avaliação do ambiente térmico em regiões tropicais e que já estão presentes em índices mais recentes, como o Índice de Estresse Térmico para Vacas [24].

Como a pecuária leiteira está presente em mais de 80% dos municípios do Brasil, com grande participação dos animais mestiços [6], e devido à extensa diversidade climática do país, são fundamentais os zoneamentos bioclimáticos com o uso desses índices [27]. Porém, a maioria desses estudos prioriza vacas em lactação, ignorando as demais categorias animais, como as novilhas [9]. Sabe-se que os efeitos negativos do estresse por calor sobre as novilhas são mais brandos, entretanto, já são suficientes para prejudicarem a lactação vindoura [31].

Assim, objetivou-se examinar dentre alguns índices de estresse térmico citados na literatura qual deles melhor reflete o potencial impacto das condições meteorológicas sobre a homeostase térmica de novilhas leiteiras mestiças criadas em Uberlândia, MG.

MATERIAIS E MÉTODOS

Local

Esta pesquisa foi realizada na Fazenda Experimental do Campus Glória da Universidade Federal de Uberlândia, localizada no município de Uberlândia, Triângulo Mineiro, extremo oeste do estado de Minas Gerais (MG), Brasil, 925m de altitude, 18° 56' 56'' de latitude sul e 48° 12' 47'' de longitude oeste [17]. A temperatura média anual da cidade está entre 19°C e 27°C e, segundo a classificação de Köppen, seu clima é do tipo Aw, megatérmico, com chuvas no verão e inverno seco [22].

Animais

Do lote de novilhas leiteiras, foram selecionadas oito com massas corporais próximas, cuja média inicial e final foram 487,8 kg e 560,25 kg, respectivamente. Esses animais eram mestiços, de 3/4 a 5/8 europeu com zebu, provenientes de cruzamentos entre as raças Jersey, Pardo Suíça, Holandês e Gir. Foram mantidas em um piquete com sombra natural, água *ad libitum*, pastagem composta predominantemente por *Urochloa decumbens* (“braquiariinha”) e suplementadas com sal mineral.

Avaliação dos animais

O experimento foi realizado de novembro de 2016 a fevereiro de 2017. Em média, durante 5 dias por mês, que eram ensolarados e sem chuva, as novilhas foram expostas ao sol no curral de manejo das 09h00 às 13h00, com água *ad libitum*. Após, foram conduzidas ao tronco de contenção para a quantificação da frequência respiratória e da temperatura retal, pois suas alterações são as

mais utilizadas para avaliar fisiologicamente a capacidade de adaptação dos animais ao calor [5,10].

A frequência respiratória foi medida pela contagem do número de movimentos da região do flanco direito no intervalo de trinta segundos e multiplicado por dois. A temperatura retal foi obtida com o termômetro clínico veterinário de mercúrio¹ (com escala de 35°C a 44°C), que permaneceu na mucosa retal por dois minutos, na profundidade de 5 cm.

Avaliação do ambiente térmico

Simultaneamente às medidas das variáveis fisiológicas, o ambiente foi monitorado para temperatura de bulbo seco e de bulbo úmido pelo termo-higrômetro de mercúrio¹. A temperatura do globo negro foi medida pelo termômetro de globo (TGM-200)², colocado a 0,9 m de altura e exposto ao sol. A velocidade do vento foi obtida pelo anemômetro (AD-250)³.

Por equações específicas (Tabela 1), foram calculadas a radiação solar [25], a umidade relativa [23], a temperatura radiante média [23] e os principais índices de estresse térmico selecionados da literatura: Índice de Temperatura e Umidade [30], Índice de Globo Negro e Umidade [4], Índice de Temperatura Equivalente [2], Índice de Estresse Ambiental [18], Índice de Frequência Respiratória (para temperatura ambiente superior a 25°C) [7, 8], Índice de Carga Térmica (para temperatura de globo negro superior a 25°C) [11], Índice de Especificação Ambiental [26], Índice Climático Compreensivo [14], Índice de Conforto Térmico para Bovinos de Leite [29] e Índice de Estresse Térmico para Vacas [24].

Para garantir que cada resposta animal foi resultante de uma determinada condição ambiental, todos os índices foram calculados a partir de variáveis ambientais coletadas no momento das mensurações feitas em cada novilha.

Análise Estatística

Foi usado o programa Action® 2.9 para a realização das estatísticas descritivas das variáveis fisiológicas, ambientais e dos índices de estresse térmico. Em seguida, analisou-se a correlação linear simples de Pearson, com significância de 5%, entre os índices de estresse térmico e as variáveis fisiológicas.

RESULTADOS

A temperatura média do globo negro foi superior à temperatura do ar média (Tabela 2). A temperatura radiante média, quando a sua unidade é convertida de Kelvin para graus Celsius, passa a ter um valor igual a 44,99°C, também bastante superior à temperatura do ar média. A velocidade do vento apresentou valores baixos, já a radiação solar e a umidade relativa apresentaram grande amplitude.

Com relação às variáveis fisiológicas, o valor médio da temperatura retal esteve dentro do padrão fisiológico e o limite superior acima da normalidade. O valor médio da frequência respiratória também esteve dentro da normalidade, porém o maior valor da amplitude foi elevado (Tabela 2).

O Índice de Temperatura Equivalente apresentou maior correlação com a temperatura retal e frequência respiratória, seguido pelo Índice de Estresse Térmico para Vacas (Tabela 3).

Os índices que apresentaram menor e maior amplitude de variação foram, respectivamente, o Índice de Especificação Ambiental e o Índice de Estresse Térmico para Vacas (Tabela 4).

DISCUSSÃO

A temperatura ambiente, mesmo se for considerado o seu valor máximo, esteve dentro da zona termoneutra para animais mestiços, compreendida entre 7 e 35°C [23]. Porém, observou-se o quão mais elevada foi a temperatura radiante média, quando convertida para graus Celsius. Isso se

deve à elevada radiação solar média obtida no estudo, uma vez que valores acima de 800W.m^{-2} são considerados altos [15]. Tal observação é característica de regiões tropicais, onde o principal elemento climático que interfere na criação de bovinos é a radiação solar [24]. Além disso, a temperatura ambiente, embora geralmente elevada, não varia tanto ao longo do ano para ser a grande responsável pelas alterações fisiológicas e metabólicas que são observadas nos animais em função do ambiente térmico [16]. Portanto, ao avaliar o equilíbrio térmico de um bovino é importante não somente considerar o calor produzido pelo mesmo, mas também o calor ganho do microambiente.

Com relação à temperatura de globo negro, sabe-se que na sombra ela é próxima da temperatura ambiente, pois não sofre a ação da radiação de onda curta direta [9]. No presente estudo, o globo negro foi colocado exposto ao sol e, portanto, o seu valor médio foi bem superior ao da temperatura ambiente média, demonstrando novamente a intensidade da radiação sobre os animais no período mais quente do dia no município de Uberlândia. Já em uma pesquisa similar feita no sul do Brasil, cujas condições ambientais são mais amenas, foi encontrada uma temperatura de globo negro média bem inferior: $36,11^{\circ}\text{C}$ [29].

Os valores da velocidade do vento foram muito baixos e, portanto, distantes do valor ótimo para vacas lactantes, que é $2,2\text{m.s}^{-1}$ [12]. Em um estudo similar em três municípios do nordeste do Brasil, por exemplo, os valores médios foram superiores a $1,66\text{m.s}^{-1}$ [25].

Na análise da umidade relativa, ao considerar o intervalo ideal para bovinos leiteiros de 50 a 70% [1,28], percebe-se que ela esteve próxima da normalidade. Deve ser enfatizado que de novembro a fevereiro, ocorre uma maior concentração de chuvas na região (primavera e verão), o que explica a umidade um pouco mais elevada.

O valor médio da temperatura retal encontrado no estudo foi dentro do limiar fisiológico para vacas leiteiras, o qual está entre 38 e $39,3^{\circ}\text{C}$ [5]. Esse dado é importante para indicar a adaptação

das novilhas ao ambiente térmico, pois, quando a temperatura retal não se eleva acima do padrão de normalidade, indica que os mecanismos de termorregulação foram capazes de eliminar o excesso de calor, mantendo o equilíbrio térmico [5].

Uma frequência respiratória para vacas leiteiras entre 18 e 60 mov.min⁻¹ indica ausência de estresse por calor [13] e o valor médio obtido no presente estudo esteve dentro desse intervalo. Outra classificação é a seguinte: ausência de estresse (23 mov.min⁻¹); há estresse, mas está sob controle (45 a 65 mov.min⁻¹); início do estresse térmico (70 a 75 mov.min⁻¹); estresse acentuado (90 mov.min⁻¹); estresse severo com grandes perdas (100 a 120 mov.min⁻¹); estresse mortal, em que os animais não conseguem se alimentar ou beber água (acima de 120 mov.min⁻¹) [21]. Assim, no presente estudo, a amplitude de variação da frequência respiratória, esteve próxima da faixa de apenas início do estresse térmico.

Esses resultados reforçam a hipótese de que as novilhas leiteiras mestiças eram adaptadas às condições meteorológicas da região de Uberlândia, principalmente se for considerado que as variáveis fisiológicas foram obtidas após 4 horas de exposição ao sol. É importante ressaltar que, por serem mestiços, já se esperava uma adaptação desses animais às condições mais quentes. Além disso, eram novilhas, cujo metabolismo é inferior ao das vacas e, portanto, tendem a sofrer menos com o calor [31].

Em pesquisa similar, os valores médios da frequência respiratória e da temperatura retal foram, respectivamente, 79,6 mov.min⁻¹ e 39,53°C [25], superiores aos do presente estudo. Porém, essa pesquisa foi desenvolvida com vacas Holandesas e Jersey no nordeste do Brasil, região com temperatura elevada e intensa radiação solar.

Referente aos índices de estresse térmico, aquele que apresentou as maiores correlações com a temperatura retal e frequência respiratória foi o Índice de Temperatura Equivalente, seguido pelo Índice de Estresse Térmico para Vacas e pelo Índice de Estresse Ambiental. A intensidade dessa

correlação indica a eficiência do índice em avaliar o estresse térmico a que os animais estão expostos [25].

Em um estudo feito com vacas Holandesas e Jersey no Ceará e no Rio Grande do Norte, o Índice de Temperatura Equivalente, juntamente com o Índice de Carga Térmica, também foi considerado um dos índices de estresse térmico mais eficientes, com uma correlação de 0,293 com a temperatura retal e de 0,520 com a frequência respiratória [25].

Já em outra pesquisa, o Índice de Conforto Térmico para Bovinos de Leite foi o índice mais confiável para a avaliação do bem-estar térmico de vacas de alta produção, pois apresentou os maiores valores de correlação com essas mesmas variáveis fisiológicas (0,294 e 0,364, respectivamente) [29]. Porém, os animais avaliados não eram mestiços, mas sim da raça Holandesa e, além disso, eram criados nos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, cujas condições ambientais são bem distintas das do Triângulo Mineiro.

Portanto, para a região estudada, o Índice de Temperatura Equivalente foi o mais apropriado para auxiliar os produtores a avaliarem o potencial impacto das condições meteorológicas sobre a homeostase térmica de novilhas leiteiras mestiças e, assim, optarem pelas medidas corretivas mais adequadas.

Compreender os fatores envolvidos no surgimento do estresse por calor e as consequentes alterações no bem-estar e no desempenho dos bovinos é essencial na escolha, planejamento e manutenção das melhores medidas atenuadoras desses fatores [20]. Por exemplo, sistemas de climatização para criação confinada e sombreamento natural ou artificial para criação a pasto [1]. Pode-se ainda, no planejamento de um projeto para criação de bovinos leiteiros, considerar o movimento do ar, bem como as obstruções do vento, disponibilidade de água para beber, dentre outros [20].

Assim, o uso do Índice de Temperatura Equivalente é recomendado por apresentar uma confiabilidade e pelo seu cálculo ser simples, pois requer apenas os dados da temperatura ambiente, umidade relativa e velocidade do vento [25]. O Índice de Estresse Térmico para Vacas e o Índice de Estresse Ambiental também são confiáveis, mas requerem informações sobre a radiação solar, cuja medição direta necessita de um piranômetro, equipamento de alto custo [24].

Na pesquisa de desenvolvimento do Índice de Temperatura Equivalente, que se baseou nas respostas de vacas Holandesas de alta produção em câmara climática, foi elaborada a seguinte escala de risco: ausência de problemas (18 a 27), cautela (27 a 32), cautela extrema (32 a 38), perigo (38 a 44) e perigo extremo (> 44) [2]. Entretanto, para vacas Holandesas já bem adaptadas ao calor, as categorias podem ser estabelecidas como: seguro (< 30), cautela (30 a 34), cautela extrema (34 a 38) e perigo (> 38) [25].

Não há uma escala específica para animais mestiços. Portanto, de acordo com as duas pesquisas supracitadas e com o valor máximo do Índice de Temperatura Equivalente encontrado no presente estudo, o estágio “perigo” não foi atingido, apenas o estágio “cautela extrema”. Referente ao seu valor médio, este permaneceu na categoria “cautela” nas duas escalas, indicando a ocorrência de um estresse por calor, o qual, porém, não foi tão severo.

Por fim, os resultados também confirmaram que o Índice de Temperatura e Umidade, o mais comum e mais amplamente empregado, não correlacionou com a temperatura retal, assim como ocorreu em outro estudo [25], indicando que seu uso deve ser evitado. O principal motivo é o fato deste índice ter sido desenvolvido em zonas temperadas e com base nas respostas de animais adaptados às mesmas, cujas condições climáticas diferem muito das regiões tropicais [25].

CONCLUSÕES

Dentre os dez índices de estresse térmico avaliados, o Índice de Temperatura Equivalente é considerado o melhor para avaliar uma situação de estresse por calor para novilhas leiteiras mestiças criadas no município de Uberlândia, Triângulo Mineiro, seguido pelo Índice de Estresse Térmico para Vacas e pelo Índice de Estresse Ambiental.

MANUFACTURERS

¹ Incoterm Indústria de Termômetros LTDA, São Paulo, SP, Brazil.

² Homis Do Brasil Equipamentos Industriais LTDA, São Paulo, SP, Brazil.

³ Instrutherm Instrumentos de Medição LTDA, São Paulo, SP, Brazil.

Ethical approval. Esta pesquisa foi realizada após avaliação e aprovação da Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) da Universidade Federal de Uberlândia, com protocolo nº 118/2016.

Declaration of interest. The authors report no conflicts of interest. The authors alone are responsible for the content and writing of the paper.

REFERÊNCIAS

1 Almeida Neto L.A., Pandorfi H., Almeida G.L. & Guiselini C. 2014. Climatização na pré-ordenha de vacas Girolando no inverno do semiárido. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental*. 18: 1072-1078. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18n10p1072-1078>

2 Baêta F.C., Meador N.F., Shanklin M.D. & Johnson H.D. 1987. Equivalent temperature index at temperatures above the thermoneutral for lactating cows. In: *Proceedings of the Meeting of the American Society of Agricultural Engineers*. (Baltimore, U.S.A.). p.21.

- 261 3 **Berman A., Horovitz T., Kaim M. & Gacitua H. 2016.** A comparison of THI indices leads to
262 a sensible heat-based heat stress index for shaded cattle that aligns temperature and humidity
263 stress. *International Journal of Biometeorology*. 60: 1453-1462. [https://doi.org/10.1007/s00484-](https://doi.org/10.1007/s00484-016-1136-9)
264 [016-1136-9](https://doi.org/10.1007/s00484-016-1136-9)
- 265 4 **Buffington D.E., Collaso-Arocho A., Canton G.H., Pitt D., Thatcher W.W. & Collier R.J.**
266 **1981.** Black globe-humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. *Transactions of the*
267 *ASAE*. 24: 711-714. <https://doi.org/10.13031/2013.34325>
- 268 5 **Costa A.N.L., Feitosa J.V., Montezuma P.A., Souza P.T. & Araújo A.A. 2015.** Rectal
269 temperatures, respiratory rates, production, and reproduction performances of crossbred Girolando
270 cows under heat stress in northeastern Brazil. *International journal of biometeorology*. 59: 1647-
271 1653. <https://doi.org/10.1007/s00484-015-0971-4>
- 272 6 **Costa M.D., Ruas J.R.M., Rodriguez M.A.P., Nogueira T.M. & Venturini R.P. 2016.**
273 Análise da relação benefício-custo em sistema de produção de leite com animais mestiços no Norte
274 de Minas Gerais. *Boletim de Indústria Animal*. 73: 244-251.
275 <https://doi.org/10.17523/bia.v73n3p244>
- 276 7 **Eigenberg R.A., Brown-Brandl T.M., Nienaber J.A. & Hahn G.L. 2002.** Dynamic response
277 of feedlot cattle to shade and no-shade. In: *Proceedings of the Meeting of The American Society of*
278 *Agricultural Engineers*. (Baltimore, U.S.A.). Paper nº. 024050.
- 279 8 **Eigenberg R.A., Nienaber J.A. & Brown-Brandl T.M. 2003.** Development of a livestock
280 safety monitor for cattle. In: *Proceedings of the Meeting of The American Society of Agricultural*
281 *Engineers*. (Baltimore, U.S.A.). Paper nº. 032338. <https://doi.org/10.13031/2013.13837>
- 282 9 **Fonseca V.D.F.C., Cândido E.P., Gonzaga Neto S., Saraiva E.P., Furtado D.A., Gama**
283 **J.F.P., Nascimento G.V., Saraiva C.A.S. & Almeida, G.H.O. 2016.** Thermoregulatory

- 284 responses of sindhi and guzerat heifers under shade in a tropical environment. *Semina: Ciências*
 285 *Agrárias*. 37: 4327-4338. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2016v37n6p4327>
- 286 10 **Gaughan J.B., Holt S.M., Hahn G.L., Mader T.L. & Eigenberg, R. 2000.** Respiration Rate –
 287 Is It a Good Measure of Heat Stress in Cattle? *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 13:
 288 329- 332.
- 289 11 **Gaughan J.B., Mader T.L., Holt S.M. & Lisle A. 2008.** A new heat load index for feedlot
 290 cattle. *Journal of Animal Science*. 86: 226-234. <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0305>
- 291 12 **Hahn G.L. 1985.** Management and housing of farm animals in hot environments. In: *Stress*
 292 *physiology in livestock*. Boca Raton: CRC Press, pp.151-174.
- 293 13 **Hahn G.L., Parkhurst A.M. & Gaughan J.B. 1997.** Cattle respiration rate as a function of
 294 ambient temperature. *Transactions of American Society of Agricultural Engineering*. 40: 97-121.
- 295 14 **Mader T.L., Johnson L.J. & Gaughan J.B. 2010.** A comprehensive index for assessing
 296 environmental stress in animals. *Journal of Animal Science*. 88: 2153-2165.
 297 <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2586>
- 298 15 **Maia A.S.C., Silva R.G., Nascimento S.T., Nascimento C.C.N., Pedroza H.P. & Domingos**
 299 **H.G.T. 2015.** Thermoregulatory responses of goats in hot environments. *International Journal of*
 300 *Biometeorology*. 59: 1025-1033. <https://doi.org/10.1007/s00484-014-0916-3>
- 301 16 **Martello L.S., Savastano Júnior, H., Silva S.L.D.A & Titto E.A.L. 2004.** Respostas
 302 fisiológicas e produtivas de vacas holandesas em lactação submetidas a diferentes ambientes.
 303 *Revista Brasileira de Zootecnia*. 33: 181-191. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982004000100022>
- 304 17 **Maywald P.G. & Marçal Júnior O. 2013.** Estrutura de Áreas protegidas dos assentamentos de
 305 reforma agrária no município de Uberlândia-MG, Brasil: um estudo de ecologia de paisagem.
 306 *Revista Sociedade & Natureza*. 25: 75-90. <https://doi.org/10.1590/S1982-45132013000100007>

- 307 18 **Moran D.S., Pandolf K.B., Shapiro Y., Heled Y., Shani Y., Mathew W.T. & Gonzalez, R.R.**
 308 **2001.** An environmental stress index (ESI) as a substitute for the wet bulb globe temperature
 309 (WBGT). *Journal of Thermal Biology*. 26: 427-431. [https://doi.org/10.1016/S0306-](https://doi.org/10.1016/S0306-4565(01)00055-9)
 310 [4565\(01\)00055-9](https://doi.org/10.1016/S0306-4565(01)00055-9)
- 311 19 **Nascimento G.V.D., Cardoso E.D.A., Batista N.L., Souza B.B.D. & Cambuí G.B. 2013.**
 312 Indicadores produtivos, fisiológicos e comportamentais de vacas de leite. *Agropecuária Científica*
 313 *no Semiárido*. 9: 28-36.
- 314 20 **Nienaber J. A., Hahn G. L. & Eigenberg R. A. 2004.** Engineering and management practices
 315 to ameliorate livestock heat stress. In *Proceedings, International Symposium of The CIGR*. (Evora,
 316 Portugal). pp.1-18.
- 317 21 **Pires M.F.A. & Campos A.T. 2004.** Modificações ambientais para reduzir o estresse calórico
 318 em gado de leite. *Embrapa Gado de Leite-Comunicado Técnico*. 42:1-6.
- 319 22 **Silva E.M. & Aassunção W.L. 2004.** O Clima na cidade de Uberlândia. *Revista Sociedade e*
 320 *Natureza*. 16: 91-107.
- 321 23 **Silva R. G. 2000.** *Introdução à bioclimatologia animal*. São Paulo: Nobel, 286p.
- 322 24 **Silva R.G., Maia A.S.C. & Costa L.L.M. 2015.** Index of thermal stress for cows (ITSC) under
 323 high solar radiation in tropical environments. *International Journal of Biometeorology*. 59: 551-
 324 559. <https://doi.org/10.1007/s00484-014-0868-7>
- 325 25 **Silva R.G., Morais D.A.E.F. & Guilhermino M.M. 2007.** Evaluation of thermal stress indexes
 326 for dairy cows in tropical regions. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 36: 1192-1198.
 327 <https://doi.org/10.1590/S1516-35982007000500028>
- 328 26 **Silva R.G., Morais D.A.E.F., Guilhermino M.M., LaScala Junior N. & Maia A.S.C. 2010.**
 329 Índices de Estresse Térmico para Vacas Leiteiras em Regiões Equatoriais Secas. *Revista Científica*
 330 *de Produção Animal*. 12: 125-128. <https://doi.org/10.15528/2176-4158/rcpa.v12n2p125-128>

- 331 27 Souza B.D., Silva I.J.O., Mellace E.M., Santos R.F.S., Zotti C.A. & Garcia P.R. 2010.
332 Avaliação do ambiente físico promovido pelo sombreamento sobre o processo termorregulatório
333 em novilhas leiteiras. *Agropecuária Científica no Semiárido*. 6: 59-65.
- 334 28 Takahashi L.S., Biller J.D., Takahashi K.M. 2009. *Bioclimatologia zootécnica*. 2. ed.
335 Jaboticabal: [s.n.], 91p.
- 336 29 Thom E.C. 1959. The discomfort index. *Weatherwise*. 12: 57- 59.
337 <https://doi.org/10.1080/00431672.1959.9926960>
- 338 30 Tonello C.L. 2011. Validação de Índice de Conforto Térmico e Zoneamento Bioclimático da
339 Bovinocultura de Leite. 140 f. Maringá, PR. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Programa de Pós-
340 graduação em Zootecnia - Área de Concentração Produção Animal, Universidade Estadual de
341 Maringá.
- 342 31 West J.W. 2003. Effects of Heat-Stress on Production in Dairy Cattle. *Journal of Dairy Science*.
343 86: 2131-2134. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73803-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73803-X)
344

Tabela 1 - Equações para o cálculo da radiação solar, umidade relativa, temperatura radiante e alguns índices de estresse térmico.

Variáveis Ambientais e Índices de Estresse Térmico	Equações
Radiação Solar - S [25]	$S = 1372,9 \cos\Theta e^{-\tau_m} [1 - n (1 - c)]$
Umidade Relativa – UR [23]	$UR = 100 P_p \{T_A\} \div P_s \{T_A\}$
Temperatura Radiante Média – TRM [23]	$T_{RM} = 100 \{ [(2,51 V^{0,5} (T_G - T_A) + (T_G \div 100)^4)]^{0,25} \}$
Índice de Temperatura e Umidade - ITU [30]	$ITU = T_A + 0,36 T_{PO} + 41,5$
Índice de Globo Negro e Umidade - IGNU [4]	$IGNU = T_G + 0,36 T_{PO} + 41,5$
Índice de Temperatura Equivalente - ITE [2]	$ITE = 27,88 - 0,456 T_A + 0,107547 T_A^2 - 0,4905 UR + 0,0008 UR^2 + 1,1507 V - 0,126447 V^2 + 0,0198767 T_A UR - 0,046313 T_A V$
Índice de Estresse Ambiental - IEA [18]	$IEA = 0,63 T_A - 0,03 UR + 0,002 S + 0,0054 (T_A \times UR) - 0,073 (0,1 S)^{-1}$
Índice de Frequência Respiratória - IFR [7, 8]	$IFR = 5,4 T_A + 0,58 UR - 0,63 V + 0,024 S - 110,9$
Índice de Carga Térmica - ICT [11]	$ICT = 8,62 + (0,38 UR) + (1,55 T_G) - (0,5 V) + [e^{2,4 \cdot v}]$
Índice de Especificação Ambiental – IEA [26]	$IEA = 30,114 - 0,1448 T_A + 0,52855 V + 1,067 P_p \{T_A\} + 0,0198 T_G$
Índice Climático Compreensivo - ICC [14]	$ICC = T_A + [Eq.1^*] + [Eq.2^{**}] + [Eq.3^{***}]$
Índice de Conforto Térmico para Bovinos de Leite - ICTbl [29]	$ICTbl = 0,6354 T_A + 0,6312 T_G + 0,4438 P_p \{T_A\} + 0,0310 V$
Índice de Estresse Térmico para Vacas - IETV [24]	$IETV = 77,1747 + 4,8327 T_A - 34,8189 V + 1,111 V^2 + 118,6981 P_p \{T_A\} - 14,7956 P_p \{T_A\}^2 - 0,1059 ERHL$

S: radiação solar; t: coeficiente de turbidez atmosférica; m: massa de ar; n: proporção de cobertura de nuvens; c: coeficiente com base no tipo de nuvem; $P_p\{T_A\}$: pressão parcial de vapor do ar à temperatura T_A ; $P_s\{T_A\}$: pressão de saturação à temperatura T_A ; T_A : temperatura ambiente; T_{PO} : temperatura de ponto de orvalho; T_G : temperatura de globo negro; V: velocidade do vento; e: base do logaritmo natural = 2,71828; ERHL: Carga Térmica de Radiação Efetiva.

***Eq.1:** *Fator de Correção da UR* $= e^{0,00182 \times UR + 1,8 \times 10^{-5} \times T_A \times UR} \times (0,000054 \times T_A^2 + 0,00192 \times T_A - 0,0246) \times (UR - 30)$

****Eq.2:** *Fator de Correção da V* $= \left[-6,56 \div e^{\left\{ 1 \div (2,26 \times V + 0,23)^{0,45 \times (2,9 + 1,14 \times 10^{-6} \times V^{2,5} - \log_{0,6}(2,26 \times V + 0,66)^{-2}) \right\}} \right] - 0,00566 \times V^2 + 3,33$

*****Eq.3:** *Fator de Correção da S* $= 0,0076 \times S - 0,00002 \times S \times T_a + 0,00005 \times T_a^2 \times \sqrt{S} + 0,1 \times T_a - 2$

Tabela 2- Valores médios, desvio padrão e variação das condições meteorológicas e fisiológicas de termorregulação de novilhas leiteiras mestiças obtidas após 4 horas de exposição ao sol em Uberlândia, MG.

Condições Meteorológicas e Fisiológicas	Valores Médios e Desvio-Padrão	Variação
Temperatura ambiente (°C)	29,96 ± 1,66	24,5 a 33
Temperatura do globo (°C)	41,73 ± 4,51	29 a 50,5
Temperatura Radiante Média (K)	318,14 ± 8,02	302,15 a 345,78
Radiação Solar (W.m ⁻²)	831,02 ± 131,22	517,50 a 1027,88
Velocidade do vento (m.s ⁻¹)	0,11 ± 0,26	0 a 1,2
Umidade Relativa (%)	50,51 ± 6,74	39,22 a 80,61
Temperatura Retal (°C)	38,85 ± 0,39	38 a 40,2
Frequência Respiratória (mov.min ⁻¹)	41,97 ± 11,29	20 a 76

°C: graus Celsius; K: Kelvin; W.m⁻²: Watts por metro quadrado; m.s⁻¹: metros por segundo; mov.min⁻¹: movimentos por minuto.

Tabela 3 - Coeficientes de correlação entre os índices de estresse térmico e as variáveis fisiológicas de termorregulação de novilhas leiteiras mestiças obtidas após 4 horas de exposição ao sol em Uberlândia, MG.

Índices	Temperatura	Frequência
	Retal	Respiratória
Índice de Temperatura e Umidade	0,136ns	0,265*
Índice de Globo Negro e Umidade	0,009ns	0,278*
Índice de Temperatura Equivalente	0,200*	0,317*
Índice de Estresse Ambiental	0,178*	0,289*
Índice de Frequência Respiratória	0,139ns	0,257*
Índice de Carga Térmica	0,029ns	0,313*
Índice de Especificação Ambiental	0,112ns	0,005ns
Índice Climático Compreensivo	0,070ns	0,244*
Índice de Conforto Térmico para Bovinos de Leite	0,001ns	0,249*
Índice de Estresse Térmico para Vacas	0,186*	0,314*

*P<0,05; ns= não significativo

Tabela 4 - Valores médios, desvio padrão e variação dos índices estresse térmico calculados a partir de variáveis ambientais coletadas durante o período experimental em Uberlândia-MG.

Índices	Valores Médios e Desvio-Padrão	Variação
Índice de Temperatura e Umidade	79,10 ± 1,85	74,67 a 83,58
Índice de Globo Negro e Umidade	90,86 ± 4,61	77,67 a 100,59
Índice de Temperatura Equivalente	31,31 ± 1,54	28,34 a 35,61
Índice de Estresse Ambiental	27,16 ± 1,18	24,56 a 30,41
Índice de Frequência Respiratória	100,09 ± 7,61	81,11 a 120,00
Índice de Carga Térmica	103,34 ± 6,06	84,95 a 117,73
Índice de Especificação Ambiental	28,93 ± 0,29	28,33 a 30,13
Índice Climático Compreensivo	66,60 ± 6,78	41,27 a 75,10
Índice de Conforto Térmico para Bovinos de Leite	46,33 ± 3,75	35,93 a 53,29
Índice de Estresse Térmico para Vacas	297,09 ± 21,10	230,45 a 336,23

CAPÍTULO 3

(Redigido de acordo com as normas da Revista Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia)

**Dados de estação meteorológica oficial subestimam os efeitos do estresse por calor
em bovinos leiteiros criados em ambiente tropical**

*[Official meteorological station data underestimate the effects of heat stress on dairy cattle
raised in a tropical environment]*

P.K.M. Brettas, E.C. Guimarães, M.R.B.M. Nascimento

Universidade Federal de Uberlândia – UFU - Uberlândia, MG

RESUMO

Determinaram-se os valores de temperatura do ar, umidade relativa e Índice de Temperatura e Umidade (ITU) de uma propriedade rural de produção de leite a pasto e da estação meteorológica oficial mais próxima, confrontando-os. Na fazenda, as leituras dos dados foram registradas por uma estação meteorológica automática, a cada cinco minutos, de fevereiro de 2015 a setembro de 2016. Depois, calcularam-se a média por hora e o ITU horário. Selecionaram-se os valores diários mínimo, médio e máximo. O mesmo foi feito com os dados da estação meteorológica oficial, que foram horários. A temperatura mínima e média na estação meteorológica foram maiores que na fazenda durante todo período experimental e em 16 meses, respectivamente. A temperatura máxima da propriedade rural foi maior que a da estação em seis meses. Já a umidade relativa mínima, média e máxima da estação meteorológica foram inferiores às da fazenda. O ITU mínimo foi maior na estação oficial e o ITU máximo superior na fazenda em todos os meses. Por fim, o número de dias com um ITU máximo igual ou superior ao ITU crítico foi maior na fazenda. Assim, dados da estação meteorológica oficial subestimam o efeito do estresse por calor.

Palavras-chave: conforto térmico, estresse térmico, gado leiteiro, Índice de Temperatura e Umidade

ABSTRACT

The values of air temperature, relative humidity and Temperature Humidity Index (THI) of one rural property with milk production at pasture and those from the nearest official weather station were determined, confronting them. At the farm, data readings were recorded by an automatic

weather station, every five minutes, from February 2015 to September 2016. Then, the hourly average and hourly THI were calculated. The minimum, average and maximum daily values were selected. The same was done with data from the official weather station, which were times. The minimum and mean temperature in the meteorological station were higher than on the farm throughout the experimental period and in 16 months, respectively. The maximum temperature of the rural property was greater than that of the station in six months. Meanwhile, the minimum, average and maximum relative humidity of the meteorological station were lower than those of the farm. The minimum THI was higher at the official station and the maximum THI higher at the farm in every month. Finally, the number of days with a maximum THI equal to or greater than the critical THI was higher on the farm. Thus, data from the official weather station underestimate the effect of heat stress.

Keywords: thermal comfort, thermal stress, dairy cattle, Temperature Humidity Index

INTRODUÇÃO

O bovino criado a pasto está sob efeito das condições meteorológicas e associar os vários fatores do ambiente térmico em um único valor auxilia na tomada de decisão quanto aos efeitos do estresse térmico. Assim, o Índice de Temperatura e Umidade (ITU), que avalia o efeito da temperatura e umidade concomitantemente, é amplamente empregado na avaliação do estresse por calor no gado leiteiro e pode ser calculado por distintas equações (Bohmanova *et al.*, 2007).

A obtenção desses dados pode ser realizada em estações meteorológicas oficiais ou na propriedade rural, mas muitos consideram que a primeira opção seja mais fácil e mais barata (Shock *et al.*, 2016). Dessa forma, vários estudos recentes sobre estresse por calor baseiam-se em variáveis do ambiente térmico oriundas das estações meteorológicas oficiais mais próximas aos locais de estudo (Ludovico *et al.*, 2015; Vitali *et al.*, 2015; Mendonça *et al.*, 2017).

Porém, as mensurações de temperatura e de umidade do ar na fazenda requerem apenas um termohigrômetro, equipamento encontrado facilmente e com preço acessível (Neves *et al.*, 2015). Adicionalmente, pesquisas atuais e realizados em regiões temperadas, como Schuller *et al.* (2013) na Alemanha; Scanavez *et al.* (2016) nos Estados Unidos e Shock *et al.* (2016) no Canadá, mostraram que os dados das estações meteorológicas oficiais subestimaram o efeito do estresse por calor a que os animais estavam suscetíveis.

Em tais estudos, contudo, as variáveis do ambiente térmico da propriedade rural não foram avaliadas no pasto, mas, sim, dentro de instalações, pois os animais eram confinados no sistema *freestall* ou *tiestall*. Dessa forma, mais pesquisas são necessárias para avaliar se as condições meteorológicas a pasto e em regiões tropicais também diferem dos dados de uma estação meteorológica oficial próxima, assim como ocorreu nas criações em confinamento (Schuller *et al.*, 2013).

Portanto, objetivou-se comparar dados de temperatura ambiente, umidade do ar e Índice de Temperatura e Umidade (ITU) obtidos em uma propriedade rural, em região tropical com sistema de criação de bovinos leiteiros a pasto, com os da estação meteorológica oficial mais próxima, com a finalidade de avaliar o estresse por calor.

MATERIAL E MÉTODOS

A Fazenda do Campus Glória (869 m de altitude, 18° 55' 03,5'' de latitude sul e 48° 15' 31,2'' de longitude oeste) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), localizada no município de Uberlândia, MG, Brasil, foi a propriedade rural a partir da qual foram obtidos os dados do ambiente térmico e onde os animais eram criados a pasto. Já os dados referentes à estação meteorológica oficial mais próxima foram cedidos pelo Laboratório de Climatologia e Recursos Hídricos do Instituto de Geografia da UFU/Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) (938m de altitude, 18° 56' 40,9'' de latitude sul e 48° 12' 51,7'' de longitude oeste), localizada no Campus Santa Mônica da UFU, próximo à área central da cidade e a aproximadamente 5,5 km da propriedade avaliada.

Os valores de temperatura do ar e de umidade relativa foram obtidos durante 20 meses: de 05 de fevereiro de 2015 a 30 de setembro de 2016, correspondendo a 607 dias. Na fazenda, as leituras foram feitas por uma estação meteorológica automática, com sensores e *datalogger* Hobo®, instalada no pasto, a 1,0 m do solo e em uma localização na pastagem que garantiu uma distância segura para que não houvesse a interferência de outras culturas. Os sensores possuíam proteção para que a temperatura e a umidade pudessem ser medidas na sombra, protegidos da chuva e do vento. Os dados foram transferidos para um computador através da conexão USB a cada 5 ou 6 meses.

O ITU foi calculado a partir da equação do National Research Council (NRC, 1971), que, segundo Bohmanova *et al.* (2007), foi desenvolvida para avaliar o estresse térmico em animais criados em locais abertos:

$$ITU = (1,8Ta + 32) - (0,55 - 0,0055UR)(1,8Ta - 26)$$

Onde: T_a : temperatura de bulbo seco (°C) e UR: umidade relativa (%).

As leituras feitas na fazenda, por serem a cada 5 minutos, foram inicialmente convertidas em dados horários médios de temperatura do ar e umidade relativa, para, então, serem calculados os valores horários do ITU. Assim, foram selecionados os valores diários mínimo, médio e máximo da temperatura, da umidade relativa e do ITU calculados com os dados da propriedade rural.

O mesmo cálculo (valores diários mínimo, médio e máximo) foi feito com as leituras de temperatura do ar, de umidade relativa e, posteriormente do ITU, oriundas da estação meteorológica oficial, que foram horárias. As estações automáticas do INMET coletam as informações meteorológicas a cada minuto e depois, a cada hora, integram-nas e as disponibilizam para serem transmitidos, via satélite ou telefonia celular, para a sede do INMET, em Brasília.

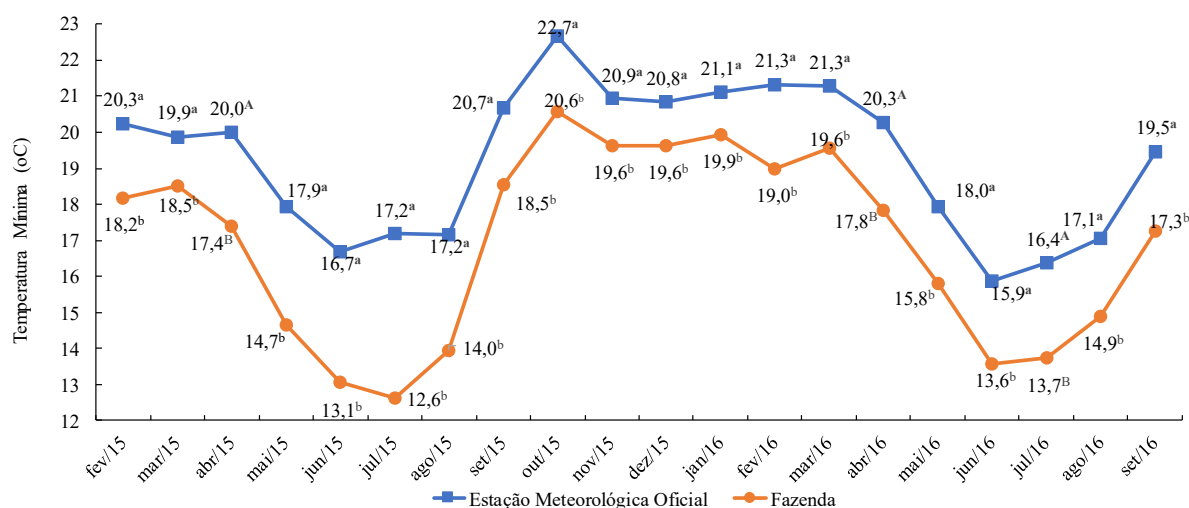
Para cada mês, realizou-se a avaliação dos valores diários de ITU separadamente: ITU diário mínimo, médio e máximo. Os mesmos foram submetidos ao teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov e os dados que não apresentaram uma distribuição normal foram comparados pelo teste de Mann-Whitney (teste U). Já aqueles com distribuição normal passaram pelo teste de Levene para a avaliação das variâncias e as suas médias mensais foram comparadas pelo teste t-Student. Todos os testes foram realizados com 5% de significância e também foram aplicados à temperatura do ar e à umidade relativa. As análises estatísticas foram executadas no Action[®] 2.9 e no SPSS[®].

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A temperatura mínima oriunda da estação meteorológica oficial foi superior à da propriedade rural em todos os meses (Fig. 1). A temperatura mínima geralmente é registrada à noite e o seu valor mais elevado na cidade, assim como ocorreu no presente estudo, pode ser explicado principalmente pelo fato do calor retido pelos edifícios, construções e pavimentos ser dissipado lentamente após o pôr do sol (Gartland, 2010). Em contrapartida, em áreas abertas como as

pastagens, a grama resfria rapidamente ao anoitecer, em especial por apresentar um baixo calor específico (Landsberg, 2006).

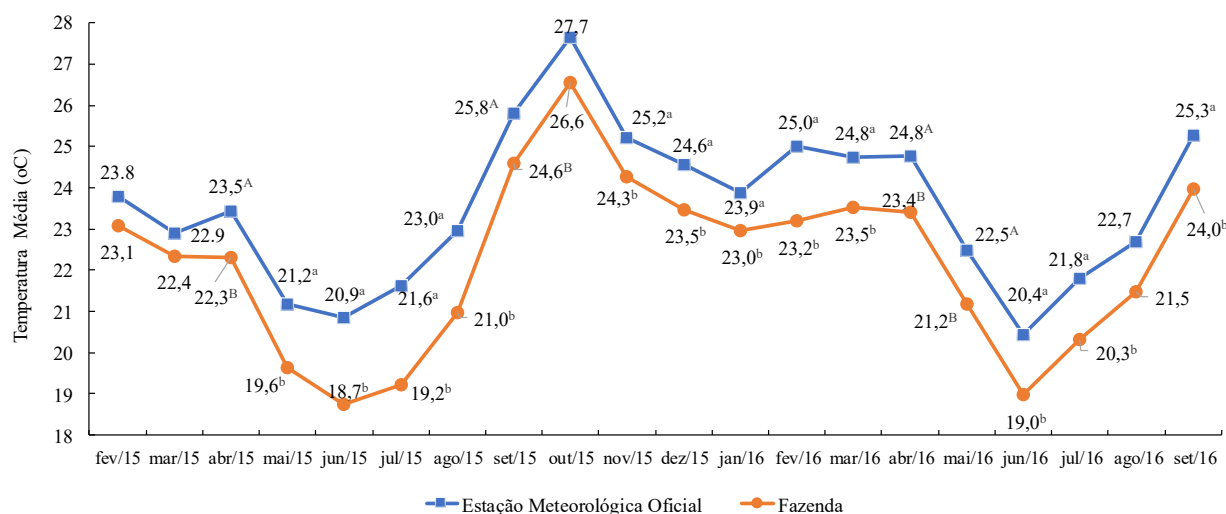
O aumento da temperatura em áreas urbanas, conhecido como “ilhas de calor”, deve-se a vários fatores, como a maior capacidade térmica dos materiais, o calor gerado pelos habitantes e pelas atividades urbanas e a diminuição das perdas de calor por irradiação noturna (Landsberg, 2006). Entretanto, Schuller *et al.* (2013), que trabalharam apenas com valores médios, obtiveram maior temperatura ambiente na propriedade rural, especialmente nos meses mais frios, justificando tal resultado com a maior produção de calor pelas vacas no frio, as quais estavam confinadas em sistema *freestall*.



Dentro de cada mês, médias seguidas por letras minúsculas diferem entre si pelo teste de t-Student, e, seguidas por letras maiúsculas diferem pelo teste de Mann-Whitney ($P < 0,05$).

Figura 1. Médias da temperatura do ar mínima (°C) calculadas a partir de dados da estação meteorológica oficial mais próxima e da propriedade rural (Fazenda Glória – Universidade Federal de Uberlândia) de fevereiro de 2015 a setembro de 2016, Uberlândia, MG, Brasil

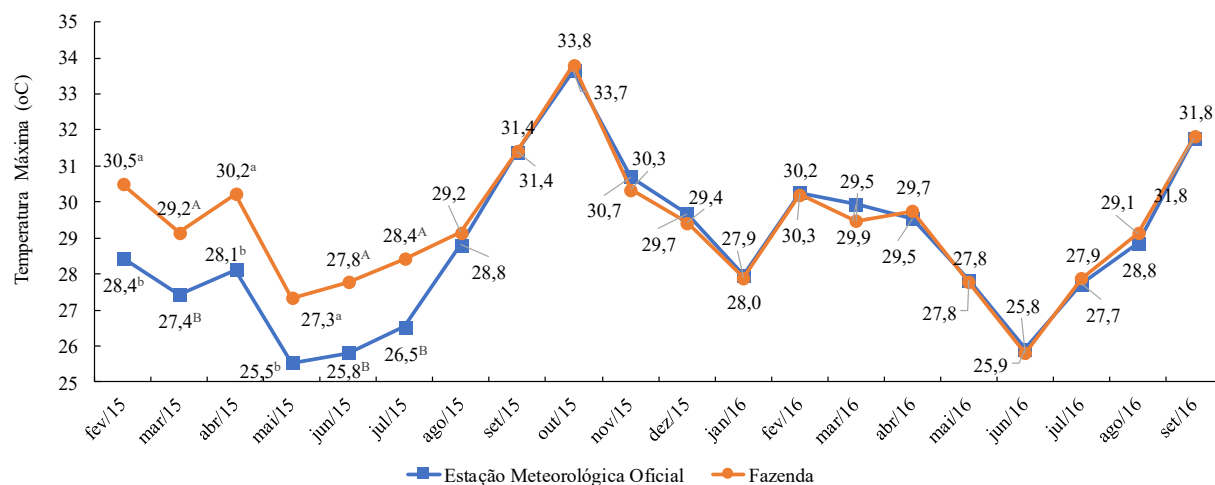
Em 16 meses da pesquisa os maiores valores de temperatura média foram observados na estação meteorológica oficial em comparação aos da fazenda, não diferindo nos outros quatro meses (Fig. 2). Esse resultado possivelmente se relaciona com o fenômeno citado acima, “ilhas de calor”, em que distintos locais da área urbana tendem a apresentar temperaturas médias mais elevadas que a zona rural circundante (Gartland, 2010).



Dentro de cada mês, médias seguidas por letras minúsculas diferem entre si pelo teste de t-Student, e, seguidas por letras maiúsculas diferem pelo teste de Mann-Whitney ($P < 0,05$).

Figura 2. Médias da temperatura do ar média (°C) calculadas a partir de dados da estação meteorológica oficial mais próxima e da propriedade rural (Fazenda Glória – Universidade Federal de Uberlândia) de fevereiro de 2015 a setembro de 2016, Uberlândia, MG, Brasil

A temperatura máxima não diferiu entre os valores da estação meteorológica e da fazenda em 14 meses, porém, nos demais 6 meses, os maiores valores foram os da propriedade rural, em torno de 2°C a mais (Fig. 3). A temperatura superior no campo pode ser explicada em parte pela maior radiação solar uma vez que na cidade a poluição e as edificações bloqueiam os raios solares.



Dentro de cada mês, médias seguidas por letras minúsculas diferem entre si pelo teste de t-Student, e, seguidas por letras maiúsculas diferem pelo teste de Mann-Whitney ($P < 0,05$).

Figura 3. Médias da temperatura do ar máxima (°C) calculadas a partir de dados da estação meteorológica oficial mais próxima e da propriedade rural (Fazenda Glória – Universidade Federal de Uberlândia) de fevereiro de 2015 a setembro de 2016, Uberlândia, MG, Brasil

Comparando o espaço urbano e o rural no interior de São Paulo, Brasil, Amorim (2012) observou que, durante a manhã e no horário de maior incidência de radiação solar, a zona rural foi

a que apresentou as temperaturas mais elevadas, assim como ocorreu na presente pesquisa. Também Schuller *et al.* (2013) registraram valores mais elevados da temperatura do ar nas instalações da fazenda durante os meses mais quentes e relacionaram tal resultado com falhas na construção e uso incorreto dos ventiladores e aspersores. Shock *et al.* (2016), que trabalharam apenas com os meses de verão, também registraram as maiores temperaturas nas instalações da propriedade rural.

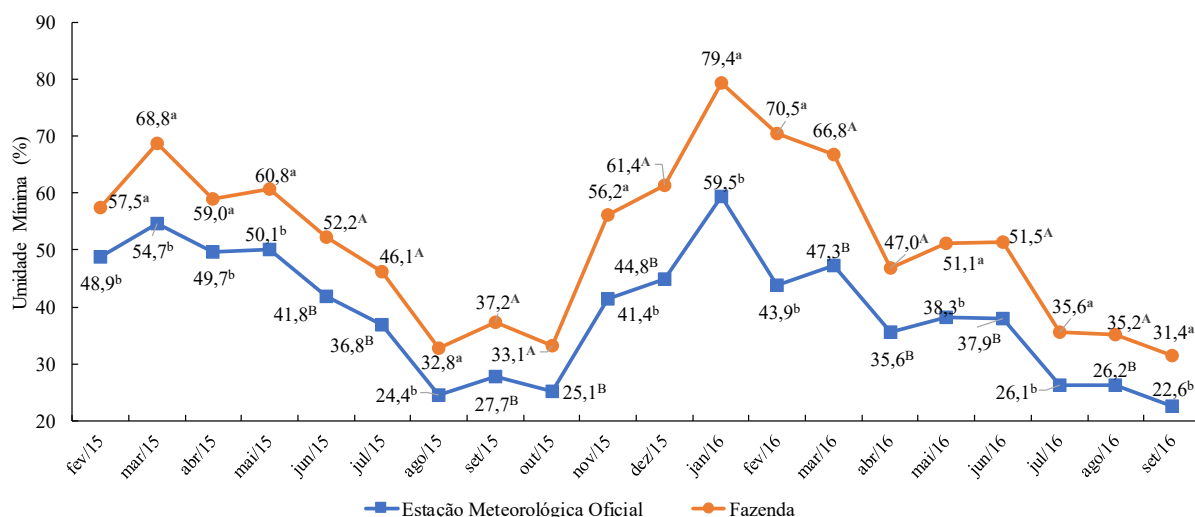
Nesse aspecto, Landsberg (2006) afirma que, apesar do fenômeno “ilhas de calor”, há uma preponderância de máximas no campo, pois, nas cidades, o nível das maiores temperaturas está acima dos telhados e ainda há uma menor radiação solar em função das construções e da névoa seca resultante da grande quantidade de gases, partículas sólidas e aerossóis lançados no ar pelas indústrias e pelo trânsito intenso de veículos. Mendonça e Dubreuil (2005) também atribuíram o maior aquecimento das áreas rurais à maior radiação sobre as mesmas. Aliás, o aquecimento ao longo do dia ocorre mais rapidamente na zona rural, pois é mais livre de construções, especialmente nos pastos, os quais recebem os raios solares diretamente desde o nascer do sol e apresentam um elevado coeficiente de reflexão, devolvendo o calor para a atmosfera de maneira mais rápida (Viana e Amorim, 2008).

Esse coeficiente de reflexão da superfície para a radiação de onda curta corresponde ao conceito de albedo da superfície ou poder refletor da superfície (Arya, 1998). Lima (1996) relatou, por exemplo, que as florestas apresentam um albedo médio de 10 a 12%, já a vegetação rasteira, como a pastagem e a maioria das culturas agrícolas, exibe albedo médio da ordem de 18 a 25%. Logo, o pasto tende a não proporcionar locais confortáveis durante as horas de radiação mais intensa (Gomes *et al.*, 2016). O mesmo não tende a ocorrer nas cidades por causa do “efeito sombra” exercido pelas construções e pela presença de grande quantidade de partículas de poluição, interceptando os raios solares (Amorim, 2012).

Por fim, uma cidade pode apresentar áreas com temperaturas distintas, conforme as variações no uso do solo urbano. Essas variações térmicas podem chegar a 7°C e ocorrem principalmente entre os espaços livres, os vegetados e as áreas construídas (Eliasson, 2000). Assim, a localização da estação meteorológica na zona urbana pode influenciar nos valores dos dados meteorológicos, podendo ser distintos de outros pontos da cidade e da zona rural ao redor.

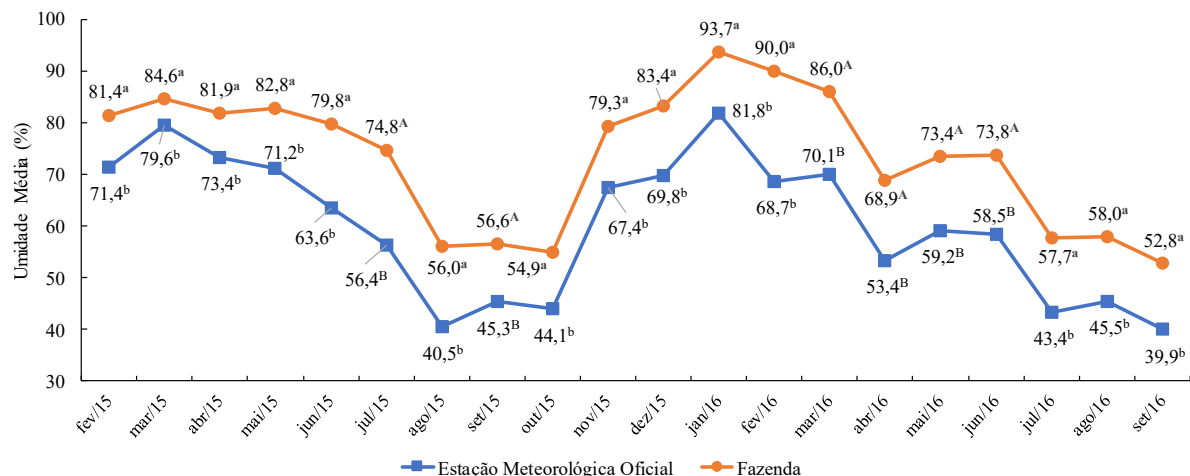
A umidade relativa mínima, média e máxima da estação meteorológica foram inferiores às da fazenda em todos os meses, exceto a máxima de março de 2015, que foi superior na estação, e

a máxima de abril de 2015, que não diferiu (Fig. 4, 5 e 6). As cidades têm uma umidade menor em virtude das elevadas temperaturas médias, pouca vegetação, rápido escoamento da precipitação pelo sistema de drenagem e expansão das superfícies impermeáveis, como os telhados e as ruas asfaltadas (Landsberg, 2006). Além disso, a pastagem contribui para a infiltração e retenção da água da chuva, aumentando a umidade nas áreas rurais (Gomes *et al.*, 2016).



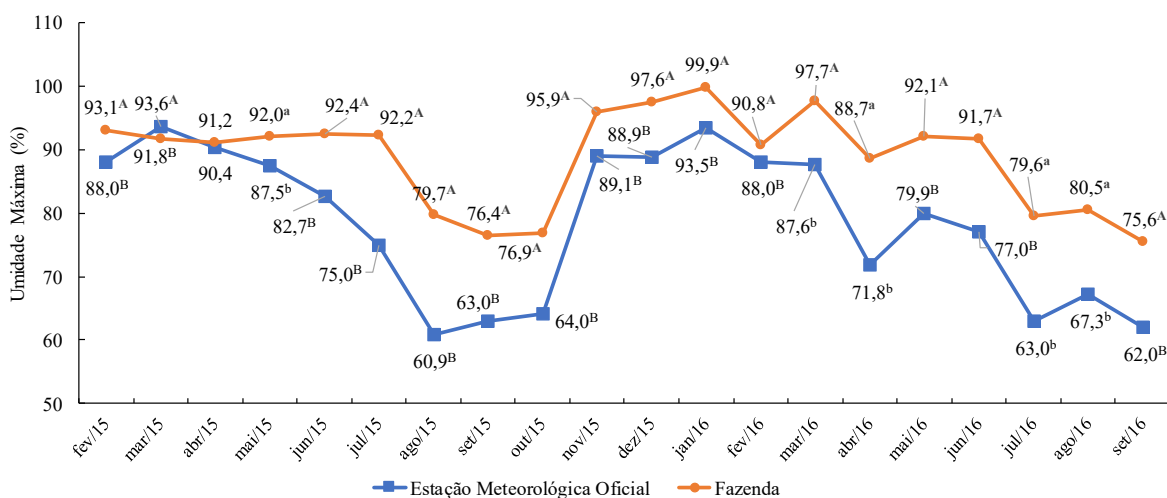
Dentro de cada mês, médias seguidas por letras minúsculas diferem entre si pelo teste de t-Student, e, seguidas por letras maiúsculas diferem pelo teste de Mann-Whitney ($P < 0,05$).

Figura 4. Médias da umidade relativa mínima (%) calculadas a partir de dados da estação meteorológica oficial mais próxima e da propriedade rural (Fazenda Glória – Universidade Federal de Uberlândia) de fevereiro de 2015 a setembro de 2016, Uberlândia, MG, Brasil.



Dentro de cada mês, médias seguidas por letras minúsculas diferem entre si pelo teste de t-Student, e, seguidas por letras maiúsculas diferem pelo teste de Mann-Whitney ($P < 0,05$).

Figura 5. Médias da umidade relativa média (%) calculadas a partir de dados da estação meteorológica oficial mais próxima e da propriedade rural (Fazenda Glória – Universidade Federal de Uberlândia) de fevereiro de 2015 a setembro de 2016, Uberlândia, MG, Brasil



Dentro de cada mês, médias seguidas por letras minúsculas diferem entre si pelo teste de t-Student, e, seguidas por letras maiúsculas diferem pelo teste de Mann-Whitney ($P < 0,05$).

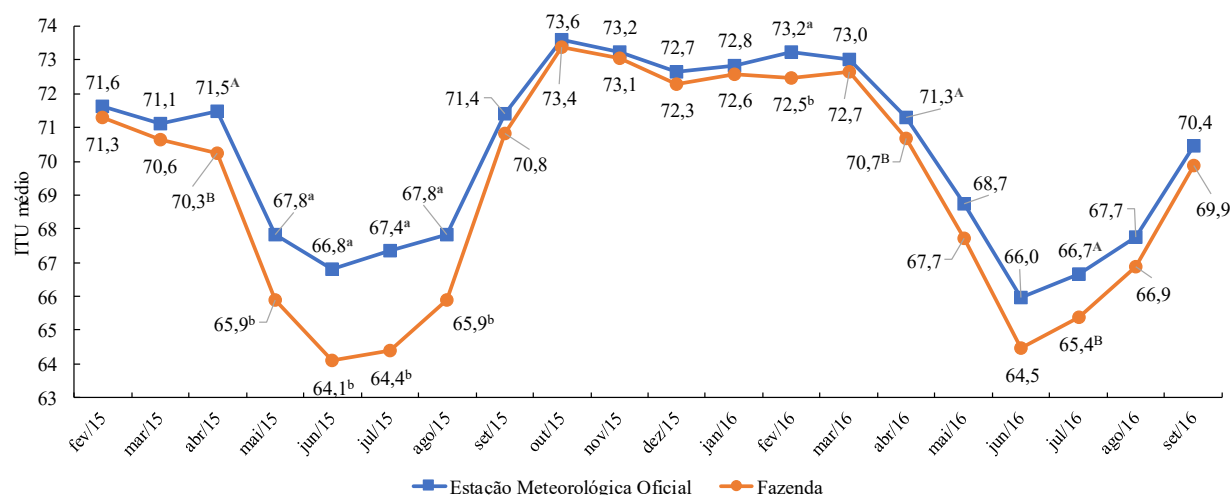
Figura 6. Médias da umidade relativa máxima (%) calculadas a partir de dados da estação meteorológica oficial mais próxima e da propriedade rural (Fazenda Glória – Universidade Federal de Uberlândia) de fevereiro de 2015 a setembro de 2016, Uberlândia, MG, Brasil.

No estudo de Schuller *et al.* (2013), nos meses mais quentes, os valores de umidade relativa oriundos da estação meteorológica oficial também foram inferiores aos da propriedade rural coletados dentro do galpão de criação de bovinos confinados. Fato que os autores atribuíram à maior perda de água por evaporação pelas vacas associada à má ventilação no interior da construção (sistema *freestall*). Já Shock *et al.* (2016) notaram que os valores de umidade relativa variaram muito de acordo com o mês, ora foram maiores na fazenda, ora na estação meteorológica oficial.

O ITU médio da estação meteorológica oficial foi superior ao da fazenda em oito meses da pesquisa e não diferiu em 12 meses (Fig. 7). O ITU mínimo foi maior na estação meteorológica (Fig. 8) e o ITU máximo foi superior na propriedade rural nos 20 meses de avaliação (Fig. 9). No mês de fevereiro de 2016, por exemplo, em que não houve diferença nas temperaturas máximas oriundas da estação meteorológica oficial e da fazenda, o ITU máximo nesta última chegou a ser quatro unidades superior ao ITU máximo observado na estação oficial, o que, portanto, pode ser justificado pelos maiores valores de umidade relativa sempre registrados no campo. Schuller *et al.* (2013), nos meses mais quentes, também obtiveram os maiores valores do ITU nas instalações da propriedade rural (sistema *freestall*), com diferenças de 3 a 4 unidades.

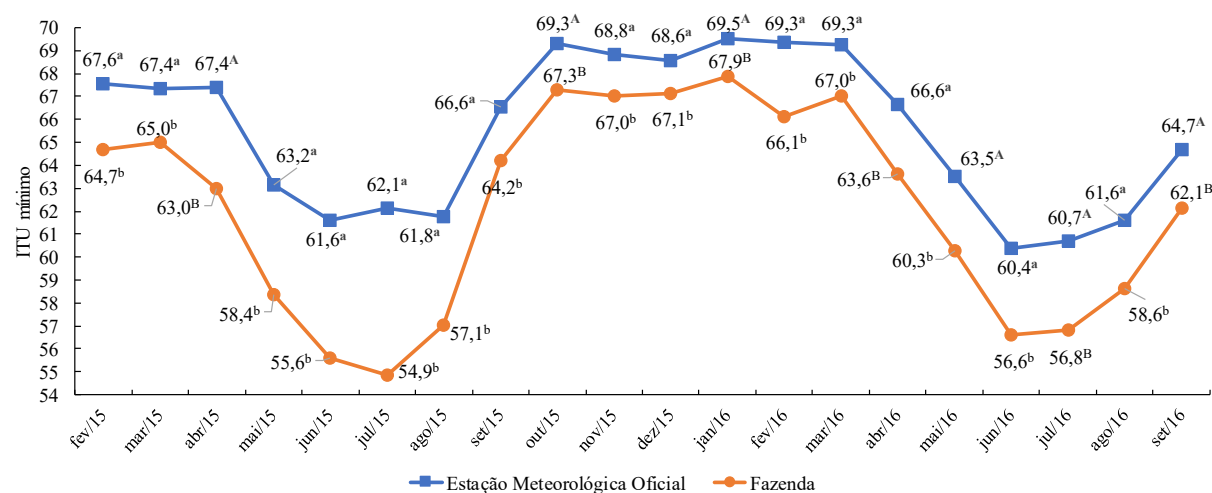
Da mesma maneira, os valores mensais do ITU observados por Shock *et al.* (2016) foram maiores nas instalações da fazenda (sistemas *freestall* e *tiestall*) que na estação meteorológica oficial mais próxima nos 4 meses (verão) avaliados. Entretanto, a magnitude dessa diferença variou

239 muito: 4,64 (ITU mínimo), 3,09 (ITU médio) e 1,74 (ITU máximo). Também é importante ressaltar
 240 que os pesquisadores avaliaram mais de uma estação meteorológica e concluíram que a distância
 241 entre estas e a propriedade rural não influenciou nas diferenças das variáveis ambientais e do ITU.
 242



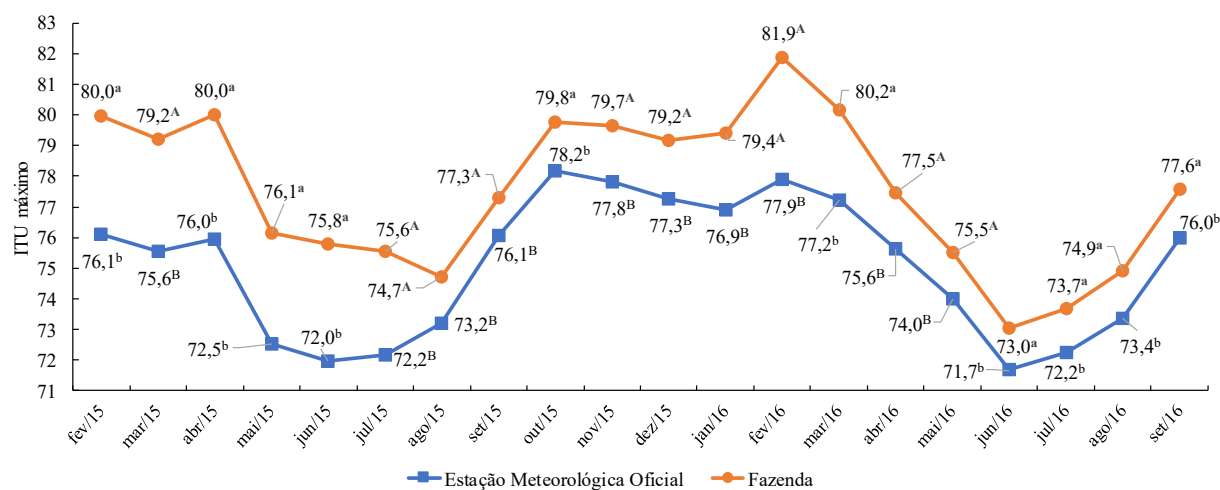
243 Dentro de cada mês, médias seguidas por letras minúsculas diferem entre si pelo teste de t-Student, e, seguidas por letras maiúsculas diferem pelo
 244 teste de Mann-Whitney ($P < 0,05$).
 245

246 Figura 7. Médias do Índice de Temperatura e Umidade (ITU) médio calculadas a partir de dados da estação meteorológica oficial mais próxima e
 247 da propriedade rural (Fazenda Glória – Universidade Federal de Uberlândia) de fevereiro de 2015 a setembro de 2016, Uberlândia, MG, Brasil.
 248
 249



250 Dentro de cada mês, médias seguidas por letras minúsculas diferem entre si pelo teste de t-Student, e, seguidas por letras maiúsculas diferem pelo
 251 teste de Mann-Whitney ($P < 0,05$).
 252

253 Figura 8. Médias do Índice de Temperatura e Umidade (ITU) mínimo calculadas a partir de dados da estação meteorológica oficial mais próxima e
 254 da propriedade rural (Fazenda Glória – Universidade Federal de Uberlândia) de fevereiro de 2015 a setembro de 2016, Uberlândia, MG, Brasil.
 255
 256



Dentro de cada mês, médias seguidas por letras minúsculas diferem entre si pelo teste de t-Student, e, seguidas por letras maiúsculas diferem pelo teste de Mann-Whitney ($P < 0,05$).

Figura 9. Médias do Índice de Temperatura e Umidade (ITU) máximo calculadas a partir de dados da estação meteorológica oficial mais próxima e da propriedade rural (Fazenda Glória – Universidade Federal de Uberlândia) de fevereiro de 2015 a setembro de 2016, Uberlândia, MG, Brasil.

Quanto ao ITU crítico, que caracteriza o início do estresse por calor, Ravagnolo *et al.* (2000) avaliaram 15.012 vacas holandesas com uma produção que variou de 9,1 a 58,5 kg.dia⁻¹, em 251 fazendas dos Estados Unidos e concluíram que a mesma permanecia constante até um ITU igual a 72. A partir desse valor, a queda para cada unidade a mais de ITU foi de 0,2kg de leite. Já Zimbelman *et al.* (2009), também nos Estados Unidos, avaliaram 100 vacas confinadas da raça Holandesa e de elevada produção (mais de 35 kg.dia⁻¹) e observaram que as quedas na produtividade passaram a ser maiores após 17 horas de exposição a um ambiente térmico com um ITU igual ou superior a 68.

Na presente pesquisa, quando se considerou o valor crítico de ITU como 68, o número de dias em que o ITU máximo foi igual ou superior a 68 foi muito próximo quando se comparou os dados oriundos da fazenda com os originários da estação meteorológica oficial (Tab. 1). Porém, quando o ITU crítico foi considerado igual a 72, tal diferença começou a se acentuar, pois os dados oriundos da estação meteorológica não detectaram estresse por calor em 16,64% dos dias avaliados (101 dias) e os da fazenda em apenas 6,1% (37 dias). Schuller *et al.* (2013), que também consideraram o ITU crítico de 72, verificaram que dos 756 dias avaliados, o ITU foi superior a 72 em 75 dias (9,92%) na estação meteorológica oficial e em 162 dias (21,42%) na fazenda, uma diferença de 87 dias (11,5% dos dias avaliados).

Tabela 1. Número, diferença e percentual de dias em que o ITU máximo foi igual ou superior ao ITU crítico na propriedade rural (Fazenda Glória – Universidade Federal de Uberlândia) e na estação meteorológica oficial (EM) mais próxima de fevereiro de 2015 a setembro de 2016 (607 dias), Uberlândia, MG, Brasil

LOCAL	ITU crítico				
	68*	72**	76***	77***	79***
Fazenda	602 (99,17%)	570 (93,90%)	427 (70,34%)	368 (60,62%)	222 (36,57%)
EM	598 (98,51%)	506 (83,36%)	282 (46,45%)	183 (30,14%)	24 (3,95%)
DIFERENÇA	4 (0,65%)	64 (10,54%)	145 (23,88%)	185 (30,47%)	198 (32,61%)

* Valor indicado por Zimbelmam *et al.* (2009). **Valor indicado por Ravagnolo *et al.* (2000). ***Valores indicados por Azevedo *et al.* (2005) para vacas 7/8, 3/4 e 1/2 Holandês-Zebú, respectivamente.

Ao se interpretar os valores críticos do ITU, é necessário cautela, pois a maioria deles são válidos para regiões temperadas e para vacas holandesas menos tolerantes ao calor, condição em que foram determinados (Fonsêca *et al.*, 2016). Portanto, para os animais mais adaptados às regiões tropicais, esses valores críticos podem estar superestimados e fornecendo uma interpretação incorreta do ambiente térmico.

Assim, se forem considerados os resultados da pesquisa com animais mestiços desenvolvida no Brasil pela Embrapa Gado de Leite (Azevedo *et al.*, 2005), tem-se como valores críticos de ITU baseados na frequência respiratória das vacas 1/2, 3/4 e 7/8 Holandês-Zebu, respectivamente, 79, 77 e 76. Com base nesses valores de ITU iguais a 76, 77 e 79, os dados oriundos da estação meteorológica não detectaram estresse por calor em 53,55% dos dias avaliados (325 dias), 69,86% (424 dias) e 96,05% (583 dias), já os dados obtidos na fazenda não registraram estresse térmico em apenas 29,66% dos dias analisados (180 dias), 39,38% (239 dias) e 63,43% (385 dias), respectivamente.

CONCLUSÕES

Os dados oriundos da estação meteorológica oficial subestimam o efeito do estresse por calor a que os bovinos criados a pasto em regiões tropicais estão vulneráveis, o que se acentua à medida em que é tomado como referência um valor crítico maior de ITU. Assim, as medidas do ambiente térmico coletadas na propriedade rural são as que representam a condição térmica a que os animais estão expostos e devem ser priorizadas.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Luiz Antônio de Araújo do Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia por prontamente fornecer os dados meteorológicos coletados na Fazenda do Campus Glória.

REFERÊNCIAS

AMORIM, M.C.C.T. A produção do clima urbano em ambiente tropical: o exemplo de Presidente Prudente/SP. *Rev. GeoNorte*, v. 3, p. 52-64, 2012.

ARYA, S.P. Introduction to micrometeorology. North Carolina: International Geophysics Series – Academic Press, 1998. 33 p.

AZEVEDO, M.; PIRES, M.F.A.; SATURNINO, H.M. *et al.* Estimativa de níveis críticos superiores do índice de temperatura e umidade para vacas leiteiras 1/2, 3/4, 7/8 Holandês-Zebu em lactação. *Rev. Bras. Zootec.*, v. 34, p. 2000-2008, 2005. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982005000600025>

BOHMANOVA, J.; MISZTAL, I.; COLE, J.B. Temperature-humidity indices as indicators of milk production losses due to heat stress. *J. Dairy Sci.*, v. 90, p. 1947-1956, 2007. <https://doi.org/10.3168/jds.2006-513>

ELIASSON, I. The use of climate knowledge in urban planning. *Landsc. Urban Plan.*, v. 48, p. 31-44, 2000. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(00\)00034-7](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(00)00034-7)

FONSÊCA, V.D.F.C.; CÂNDIDO, E.P.; NETO, S.G. *et al.* O. Thermoregulatory responses of sindhi and guzerat heifers under shade in a tropical environment. *Semina Ciênc. Agrar.*, v. 37, p. 4327-4338, 2016.

GARTLAND, L. Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 248p.

GOMES, M.R.; MARTIN, E.S.; AMORIM, M.C.T. Distribuição das temperaturas superficiais intraurbana em Caicó/RN. *Formação*, v. 3, p. 286-300, 2016.

LANDSBERG, H.E. O clima das cidades. *Rev. Dep. Geogr. Univ. São Paulo*, v. 18, p. 95-111, 2006.

LIMA, W.P. Impacto ambiental do eucalipto. 2. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1996. 301 p.

LUDOVICO, A.; MAION, V.B.; BRONKHORST, D.E. *et al.* Perdas na produção e qualidade do leite devido contagem de células somáticas no leite e estresse térmico de vacas da raça Holandesa em clima temperado. *Semina Ciênc. Agrar.*, v. 36, p. 3455-3470, 2015.

MENDONÇA, F.; DUBREUIL, V. Termografia de superfície e temperatura do ar na RMC (região metropolitana de Curitiba/PR). *Revista Ra'e Ga - O Espaço Geográfico em Análise*, n. 9, p. 25-35, 2005.

MENDONÇA, L.G.D.; MANTELO, F.M.; STEVENSON, J.S. Fertility of lactating dairy cows treated with gonadotropin-releasing hormone at AI, 5 days after AI, or both, during summer heat stress. *Theriogenology*, v. 91, p. 9-16, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.11.032>

NATIONAL research council (NRC). A Guide to environmental research on animals. National Academy of Science, Washington, 1971. 374 p.

NEVES, G.A.R.; NOGUEIRA, J.S.; BIUDES, M.S. *et al.* Desenvolvimento e calibração de um termohigrômetro para uso em pesquisas de micrometeorologia, agrometeorologia e clima. *Bol. Uni. Fed. Paraná, Geogr. Fis.*, v. 8, p. 136-143, 2015.

RAVAGNOLO, O.; MISZTAL, I.; HOOGENBOOM, G. Genetic component of heat stress in dairy cattle, development of heat index function. *J. Dairy Sci.*, v. 83, p. 2120-2125, 2000. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(00\)75094-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(00)75094-6)

- 371 SCANAVEZ, A., ROCHA, L., VOELZ, B.E. *et al.* Evaluation of Weather Information from On-
 372 Farm and Meteorological Stations to Assess Heat Stress in Dairy Cows in Southwest Kansas. *Rep.*
 373 *Prog. / Kans. Agric. Exp. Stn.*, v. 2, p. 2-7, 2016. <https://doi.org/10.4148/2378-5977.1323>
 374
- 375 SCHULLER, L.K.; BURFEIND, O.; HEUWIESER, W. Comparison of ambient temperature,
 376 relative humidity, and temperature-humidity index between on-farm measurements and official
 377 meteorological data. *J. Dairy Sci.*, v. 96, p. 7731-7738, 2013. [https://doi.org/10.3168/jds.2013-](https://doi.org/10.3168/jds.2013-6736)
 378 [6736](https://doi.org/10.3168/jds.2013-6736)
 379
- 380 SHOCK, D.A.; LEBLANC, S.J.; LESLIE KE, H.K. *et al.* Studying the relationship between on-
 381 farm environmental conditions and local meteorological station data during the summer. *J. Dairy*
 382 *Sci.*, v. 99, p. 2169-2179, March 2016. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9795>
 383
- 384 VIANA, S.S.M.; AMORIM, M.C.C.T. Caracterização do clima urbano em Teodoro Sampaio/SP:
 385 uma introdução. *Soc. Nat.*, v.20, p. 19-42, dezembro 2008. [https://doi.org/10.1590/S1982-](https://doi.org/10.1590/S1982-45132008000200002)
 386 [45132008000200002](https://doi.org/10.1590/S1982-45132008000200002)
 387
- 388 VITALI, A.; FELICI, A.; ESPOSITO, S. *et al.* The effect of heat waves on dairy cow mortality.
 389 *J. Dairy Sci.*, v. 98, p. 4572-4579, July 2015. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9331>
 390
- 391 ZIMBELMAN, R.B.; RHOADS, R.P.; RHOADS, M.L. *et al.* A re-evaluation of the impact of
 392 temperature humidity index (THI) and black globe humidity index (BGHI) on milk production in
 393 high producing dairy cows. In: ANNUAL SOUTHWEST NUTRITION AND MANAGEMENT
 394 CONFERENCE, 24., 2009, Arizona. *Proceedings...* Arizona: University of Arizona, 2009. p. 158–
 395 169.

ANEXO A – PROTOCOLO DE REGISTRO NO CEUA-UFU



Universidade Federal de Uberlândia
– Comissão de Ética na Utilização de Animais –



CERTIFICADO

Certificamos que o projeto intitulado “VALIDAÇÃO DE ÍNDICES AMBIENTAIS PARA NOVILHAS LEITEIRAS MISTIÇAS EM UBERLÂNDIA, MG”, protocolo nº 118/16, sob a responsabilidade de **Patrícia Kelly de Moraes Brettas** – que envolve a produção, manutenção e/ou utilização de animais pertencentes ao filo Chordata, subfilo Vertebrata, para fins de pesquisa científica – encontra-se de acordo com os preceitos da Lei nº 11.794, de 8 de outubro de 2008, do Decreto nº 6.899, de 15 de julho de 2009, e com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle da Experimentação Animal (CONCEA), e foi **APROVADA** pela COMISSÃO DE ÉTICA NA UTILIZAÇÃO DE ANIMAIS (CEUA) da UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA, em reunião de **14 de outubro de 2016**.

(We certify that the project entitled " VALIDAÇÃO DE ÍNDICES AMBIENTAIS PARA NOVILHAS LEITEIRAS MISTIÇAS EM UBERLÂNDIA, MG", protocol 118/16, under the responsibility of **Patrícia Kelly de Moraes Brettas** - involving the production, maintenance and/or use of animals belonging to the phylum Chordata, subphylum Vertebrata, for purposes of scientific research - is in accordance with the provisions of Law nº 11.794, of October 8th, 2008, of Decree nº 6.899 of July 15th, 2009, and the rules issued by the National Council for Control of Animal Experimentation (CONCEA) and it was approved for ETHICS COMMISSION ON ANIMAL USE (CEUA) from FEDERAL UNIVERSITY OF UBERLÂNDIA, in meeting of October 14st, 2016).

Vigência do Projeto	Início: 03/11/2016 Término: 30/12/2017
Espécie / Linhagem / Grupos Taxonômicos	Bovina
Número de animais	8
Peso / Idade	350 kg / 2 anos
Sexo	Fêmeas
Origem / Local	Fazenda do Glória (Propriedade da Universidade Federal de Uberlândia)
Número da Autorização SISBIO	-
Atividade(s)	-

Uberlândia, 01 de novembro de 2016.

Prof. Dr. César Augusto Garcia
Coordenador da CEUA/UFU

ANEXO B – INSTRUÇÕES PARA SUBMISSÃO DE ARTIGOS DA REVISTA ARQUIVO BRASILEIRO DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA

Política Editorial

O periódico *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia (Brazilian Journal of Veterinary and Animal Science)*, ISSN 1678-4162 (on-line), é editado pela FEPMVZ Editora, CNPJ: 16.629.388/0001-24, e destina-se à publicação de artigos científicos sobre temas de medicina veterinária, zootecnia, tecnologia e inspeção de produtos de origem animal, aquacultura e áreas afins.

Os artigos encaminhados para publicação são submetidos à aprovação do Corpo Editorial, com assessoria de especialistas da área (relatores). Os artigos cujos textos necessitarem de revisões ou correções serão devolvidos aos autores. Os aceitos para publicação tornam-se propriedade do Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia (ABMVZ) citado como *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*. Os autores são responsáveis pelos conceitos e informações neles contidos. São imprescindíveis originalidade, ineditismo e destinação exclusiva ao ABMVZ.

Reprodução de artigos publicados

A reprodução de qualquer artigo publicado é permitida desde que seja corretamente referenciado. Não é consentido o uso comercial dos resultados.

A submissão e tramitação dos artigos é feita exclusivamente on-line, no endereço eletrônico <<http://mc04.manuscriptcentral.com/abmvz-scielo>>.

Não serão fornecidas separatas. Os artigos encontram-se disponíveis no endereço www.scielo.br/abmvz

Orientações Gerais

Toda a tramitação dos artigos é feita exclusivamente pelo Sistema de Publicação on-line do Scielo – ScholarOne, no endereço <http://mc04.manuscriptcentral.com/abmvz-scielo> sendo necessário o cadastramento no mesmo.

Toda a comunicação entre os diversos autores do processo de avaliação e de publicação (autores, revisores e editores) será feita apenas de forma eletrônica pelo Sistema, sendo que o autor responsável pelo artigo será informado automaticamente por e-mail sobre qualquer mudança de status do mesmo.

Fotografias, desenhos e gravuras devem ser inseridos no texto e quando solicitados pela equipe de editoração também devem ser enviados, em separado, em arquivo com extensão JPG, em alta qualidade (mínimo 300dpi), zipado, inserido em “Figure or Image” (Step 6).

É de exclusiva responsabilidade de quem submete o artigo certificar-se de que cada um dos autores tenha conhecimento e concorde com a inclusão de seu nome no texto submetido.

O ABMVZ comunicará a cada um dos inscritos, por meio de correspondência eletrônica, a participação no artigo. Caso um dos produtores do texto não concorde em participar como autor, o artigo será considerado como desistência de um dos autores e sua tramitação encerrada.

Comitê de Ética

É indispensável anexar cópia, em arquivo PDF, do Certificado de Aprovação do Projeto da pesquisa que originou o artigo, expedido pelo CEUA (Comitê de Ética no Uso de Animais) de sua Instituição, em atendimento à Lei 11794/2008. O documento deve ser anexado em “Ethics Committee” (Step 6). Esclarecemos que o número do Certificado de Aprovação do Projeto deve ser mencionado no campo Material e Métodos.

Tipos de artigos aceitos para publicação:

Artigo científico

É o relato completo de um trabalho experimental. Baseia-se na premissa de que os resultados são posteriores ao planejamento da pesquisa. Seções do texto: Título (português e inglês), Autores e Afiliação (somente na “Title Page” – Step 6), Resumo, Abstract, Introdução, Material e Métodos, Resultados, Discussão (ou Resultados e Discussão), Conclusões, Agradecimentos (quando houver) e Referências. O número de páginas não deve exceder a 15, incluindo tabelas, figuras e Referências. O número de Referências não deve exceder a 30.

Relato de caso

Contempla principalmente as áreas médicas em que o resultado é anterior ao interesse de sua divulgação ou a ocorrência dos resultados não é planejada. Seções do texto: Título (português

e inglês), Autores e Afiliação (somente na “Title Page” - Step 6), Resumo, Abstract, Introdução, Casuística, Discussão e Conclusões (quando pertinentes), Agradecimentos (quando houver) e Referências. O número de páginas não deve exceder a dez, incluindo tabelas e figuras.

O número de Referências não deve exceder a 12.

Comunicação

É o relato sucinto de resultados parciais de um trabalho experimental digno de publicação, embora insuficiente ou inconsistente para constituir um artigo científico. Seções do texto: Título (português e inglês), Autores e Afiliação (somente na “Title Page” - Step 6). Deve ser compacto, sem distinção das seções do texto especificadas para “Artigo científico”, embora seguindo àquela ordem. Quando a Comunicação for redigida em português deve conter um “Abstract” e quando redigida em inglês deve conter um “Resumo”. O número de páginas não deve exceder a oito, incluindo tabelas e figuras. O número de Referências não deve exceder a 12.

Preparação dos textos para publicação

Os artigos devem ser redigidos em português ou inglês na forma impessoal.

Formatação do texto

O texto **NÃO** deve conter subitens em nenhuma das seções do artigo, deve ser apresentado em arquivo Microsoft Word e anexado como “Main Document” (Step 6), no formato A4, com margem de 3cm (superior, inferior, direita e esquerda), na fonte Times New Roman, no tamanho 12 e no espaçamento de entrelinhas 1,5, em todas as páginas e seções do artigo (do título às referências), **com linhas numeradas**.

Não usar rodapé. Referências a empresas e produtos, por exemplo, devem vir, obrigatoriamente, entre parêntesis no corpo do texto na seguinte ordem: nome do produto, substância, empresa e país.

Seções de um artigo

Título. Em português e em inglês. Deve contemplar a essência do artigo e não ultrapassar 50 palavras.

Autores e Afiliação. Os nomes dos autores são colocados abaixo do título, com identificação da instituição a qual pertencem. O autor e o seu e-mail para correspondência devem ser indicados com asterisco somente no “Title Page” (Step 6), em arquivo Word.

Resumo e Abstract. Deve ser o mesmo apresentado no cadastro contendo até 200 palavras em um só parágrafo. Não repetir o título e não acrescentar revisão de literatura. Incluir os principais resultados numéricos, citando-os sem explicá-los, quando for o caso. Cada frase deve conter uma informação completa.

Palavras-chave e Keywords. No máximo cinco e no mínimo duas*.

* na submissão usar somente o *Keyword* (Step 2) e no corpo do artigo constar tanto *keyword* (inglês) quanto palavra-chave (português), independente do idioma em que o artigo for submetido.

Introdução. Explicação concisa na qual os problemas serão estabelecidos, bem como a pertinência, a relevância e os objetivos do trabalho. Deve conter poucas referências, o suficiente para balizá-la.

Material e Métodos. Citar o desenho experimental, o material envolvido, a descrição dos métodos usados ou referenciar corretamente os métodos já publicados. Nos trabalhos que envolvam animais e/ou organismos geneticamente modificados **deverão constar obrigatoriamente o número do Certificado de Aprovação do CEUA.** (Verificar o Item Comitê de Ética).

Resultados. Apresentar clara e objetivamente os resultados encontrados.

Tabela. Conjunto de dados alfanuméricos ordenados em linhas e colunas. Usar linhas horizontais na separação dos cabeçalhos e no final da tabela. O título da tabela recebe inicialmente

a palavra Tabela, seguida pelo número de ordem em algarismo arábico e ponto (ex.: Tabela 1.). No texto, a tabela deve ser referida como Tab seguida de ponto e do número de ordem (ex.: Tab. 1), mesmo quando referir-se a várias tabelas (ex.: Tab. 1, 2 e 3). Pode ser apresentada em espaçamento simples e fonte de tamanho menor que 12 (o menor tamanho aceito é oito). A legenda da Tabela deve conter apenas o indispensável para o seu entendimento. As tabelas devem ser obrigatoriamente inseridas no corpo do texto de preferência após a sua primeira citação.

Figura. Compreende qualquer ilustração que apresente linhas e pontos: desenho, fotografia, gráfico, fluxograma, esquema etc. A legenda recebe inicialmente a palavra Figura, seguida do número de ordem em algarismo arábico e ponto (ex.: Figura 1.) e é citada no texto como Fig seguida de ponto e do número de ordem (ex.: Fig.1), mesmo se citar mais de uma figura (ex.: Fig. 1, 2 e 3). Além de inseridas no corpo do texto, fotografias e desenhos devem também ser enviados no formato JPG com alta qualidade, em um arquivo zipado, anexado no campo próprio de submissão, na tela de registro do artigo. As figuras devem ser obrigatoriamente inseridas no corpo do texto de preferência após a sua primeira citação.

Nota: Toda tabela e/ou figura que já tenha sido publicada deve conter, abaixo da legenda, informação sobre a fonte (autor, autorização de uso, data) e a correspondente referência deve figurar nas Referências.

Discussão. Discutir somente os resultados obtidos no trabalho. (Obs.: As seções Resultados e Discussão poderão ser apresentadas em conjunto a juízo do autor, sem prejudicar qualquer uma das partes).

Conclusões. As conclusões devem apoiar-se nos resultados da pesquisa executada e serem apresentadas de forma objetiva, **SEM** revisão de literatura, discussão, repetição de resultados e especulações.

Agradecimentos. Não obrigatório. Devem ser concisamente expressados.

Referências. As referências devem ser relacionadas em ordem alfabética, dando-se preferência a artigos publicados em revistas nacionais e internacionais, indexadas. Livros e teses devem ser referenciados o mínimo possível, portanto, somente quando indispensáveis. São adotadas as normas gerais da ABNT, **adaptadas** para o ABMVZ, conforme exemplos:

Como referenciar:

1. Citações no texto

A indicação da fonte entre parênteses sucede à citação para evitar interrupção na sequência do texto, conforme exemplos:

- ✓ Autoria única: (Silva, 1971) ou Silva (1971); (Anuário..., 1987/88) ou Anuário... (1987/88);
- ✓ Dois autores: (Lopes e Moreno, 1974) ou Lopes e Moreno (1974);
- ✓ Mais de dois autores: (Ferguson *et al.*, 1979) ou Ferguson *et al.* (1979);
- ✓ Mais de um artigo citado: Dunne (1967); Silva (1971); Ferguson *et al.* (1979) ou (Dunne, 1967; Silva, 1971; Ferguson *et al.*, 1979), sempre em ordem cronológica ascendente e alfabética de autores para artigos do mesmo ano.

Citação de citação.

Todo esforço deve ser empreendido para se consultar o documento original. Em situações excepcionais pode-se reproduzir a informação já citada por outros autores. No texto, citar o sobrenome do autor do documento não consultado com o ano de publicação, seguido da expressão **citado por** e o sobrenome do autor e ano do documento consultado. Nas Referências deve-se incluir apenas a fonte consultada.

Comunicação pessoal.

Não faz parte das Referências. Na citação coloca-se o sobrenome do autor, a data da comunicação, nome da Instituição à qual o autor é vinculado.

2. Periódicos (até quatro autores citar todos. Acima de quatro autores citar três autores *et al.*):

ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO BRASIL. v.48, p.351, 1987-88.

FERGUSON, J.A.; REEVES, W.C.; HARDY, J.L. Studies on immunity to alphaviruses in foals. *Am. J. Vet. Res.*, v.40, p.5-10, 1979.

HOLENWEGER, J.A.; TAGLE, R.; WASERMAN, A. et al. Anestesia general del canino. *Not. Med. Vet.*, n.1, p.13-20, 1984.

3. Publicação avulsa (até quatro autores citar todos. Acima de quatro autores citar três autores *et al.*):

DUNNE, H.W. (Ed). Enfermedades del cerdo. México: UTEHA, 1967. 981p.

LOPES, C.A.M.; MORENO, G. Aspectos bacteriológicos de ostras, mariscos e mexilhões. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MEDICINA VETERINÁRIA, 14., 1974, São Paulo. *Anais...* São Paulo: [s.n.] 1974. p.97. (Resumo).

MORRIL, C.C. Infecciones por clostridios. In: DUNNE, H.W. (Ed). Enfermedades del cerdo. México: UTEHA, 1967. p.400-415.

NUTRIENT requirements of swine. 6a ed. Washington: National Academy of Sciences, 1968. 69p.

SOUZA, C.F.A. *Produtividade, qualidade e rendimentos de carcaça e de carne em bovinos de corte*. 1999. 44f. Dissertação (Mestrado em Medicina Veterinária) – Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

4. Documentos eletrônicos (até quatro autores citar todos. Acima de quatro autores citar três autores *et al.*):

QUALITY food from animals for a global market. Washington: Association of American Veterinary Medical College, 1995. Disponível em: <<http://www.org/critcal16.htm>>. Acessado em: 27 abr. 2000.

JONHNSON, T. Indigenous people are now more combative, organized. Miami Herald, 1994. Disponível em: <[http://www.summit.fiu.edu/ MiamiHerald-Summit-RelatedArticles/](http://www.summit.fiu.edu/MiamiHerald-Summit-RelatedArticles/)>. Acessado em: 5 dez. 1994.