

INFLUÊNCIA DE VARIÁVEIS AMBIENTAIS NO CONFORTO TÉRMICO DE BOVINOS LEITEIROS ALOJADOS EM SISTEMAS DE CONFINAMENTO: REVISÃO

Data de submissão: 23/01/2023

Data de aceite: 01/03/2023

Victor Crespo de Oliveira

Universidade de Federal Viçosa
Viçosa – Minas Gerais (Brasil)
<https://orcid.org/0000-0003-2719-9972>

Leonardo França da Silva

Universidade de Federal Viçosa
Viçosa – Minas Gerais (Brasil)
<https://orcid.org/0000-0002-9710-8100>

Carlos Eduardo Alves Oliveira

Universidade de Federal Viçosa
Viçosa – Minas Gerais (Brasil)
<https://orcid.org/0000-0002-2104-7428>

João Victor Barroso Gonçalves

Centro universitário de Viçosa
Viçosa – Minas Gerais (Brasil)
<https://orcid.org/0000-0003-3837-4203>

Érika Manuela Gonçalves Lopes

Universidade Federal de Minas Gerais
Montes Claros – Minas Gerais (Brasil)
<https://orcid.org/0000-0002-7518-8955>

Bruna Nogueira Rezende

Universidade de São Paulo
Piracicaba – São Paulo (Brasil)
<https://orcid.org/0000-0003-4337-9324>

Kamila Cristina de Credo Assis

Universidade de São Paulo
Piracicaba – São Paulo (Brasil)
<https://orcid.org/0000-0003-4016-2541>

Marcos Antônio Pereira da Fonseca Maltez

Universidade Federal Rio Grande do Sul
Porto Alegre – Rio Grande do Sul (Brasil)
<https://orcid.org/0000-0003-0941-8051>

Rafaella Resende Andrade

Universidade de Florença
Florença – Toscana (Itália)
<https://orcid.org/0000-0003-3182-0741>

Fabiane de Fátima Maciel

Universidade de Federal Viçosa
Viçosa – Minas Gerais (Brasil)
<https://orcid.org/0000-0002-7117-6965>

Ariadna Faria Vieira

Universidade Estadual do Piauí
Uruçuí – Piauí (Brasil)
<https://orcid.org/0000-0002-1185-4269>

Irene Menegali

Universidade Federal de Minas Gerais
Montes Claros – Minas Gerais (Brasil)
<https://orcid.org/0000-0001-5323-4693>

RESUMO: O Brasil está entre os maiores produtores mundiais de leite, mas a produtividade média nacional ainda é baixa, fato que pode estar relacionado à falta de investimento em tecnologia, ao predomínio

de sistemas extensivos e semiextensivos, e às inadequações no ambiente térmico de produção. Dentre os problemas encontrados, há a baixa atenção dada às variáveis ambientais, que contribuem para o estresse térmico dos bovinos leiteiros e impacta diretamente a produção de leite. Neste âmbito, objetivou-se com este estudo de revisão discutir os efeitos dos principais elementos climáticos sobre o conforto térmico e desempenho produtivo de bovinos leiteiros mantidos em sistemas de confinamento. De forma específica, serão abordados conceitos relacionados a temperatura de bulbo seco do ar (t_{bs}), umidade relativa do ar (UR), índice de temperatura e umidade (ITU), velocidade do ar (v_{ar}) e radiação aplicados à avaliação do conforto térmico animal, e seus efeitos sobre o conforto térmico animal.

PALAVRAS-CHAVE: Bovinocultura de leite; sistemas de confinamento; ambiência animal; elementos climáticos.

ABSTRACT: Brazil is among the world's largest milk producers, but the national average productivity is still low, a fact that may be related to the lack of investment in technology, the predominance of extensive and semi-extensive systems, and the inadequacies in the thermal environment of production. Among the problems encountered, there is the lack of attention given to environmental variables, which contribute to the thermal stress of dairy cattle and directly impact milk production. In this context, the objective of this study review was to discuss the effects of the main climatic elements on the thermal comfort and productive performance of dairy cattle kept in confinement systems. Specifically, concepts related to air dry bulb temperature (t_{bs}), relative air humidity (RH), temperature and humidity index (ITU), air velocity (v_{ar}) and radiation applied to the evaluation of thermal comfort will be addressed. animal, and its effects on animal thermal comfort.

KEYWORDS: Dairy cattle; confinement systems; animal ambience; weather elements.

1 | INTRODUÇÃO

O Brasil ocupa atualmente a posição de quarto maior produtor mundial de leite, estimando-se ter alcançado a marca de 36,5 bilhões de litros no ano de 2021. Todavia, apesar da elevada produção, o rebanho de bovinos leiteiros brasileiro ainda apresenta baixa produtividade, decorrente da falta de investimento em tecnologias, predominância de sistemas de produção extensivo e semi-extensivo, e inadequações do ambiente térmico e manejo nutricional, sanitário e reprodutivo (FAO, 2021; IBGE, 2022, FACÓ et al., 2002; COSTA, 2014; ANDRADE et al., 2021; DAMASCENO, 2020; OLIVEIRA et al., 2021; EMBRAPA, 2020; OLIVEIRA et al., 2022; VIEIRA et al., 2021).

No intuito de elevar os índices produtivos do rebanho leiteiro nacional, vêm sendo utilizados cruzamentos de raças zebuínas, que apresentam boa adaptação às condições tropicais, com raças de origem europeia (Holandesa, Jersey, Pardo suíço, Zebu leiteiras), especializadas na produção de leite (FERREIRA, 2016). Por meio dos cruzamentos, são aproveitadas as vantagens produtivas dos animais com alto potencial de produção e a robustez dos zebuínos, potencializando características genéticas favoráveis à produção (FACÓ et al., 2002; FERRO et al., 2010; FERREIRA, 2016).

De forma geral, a exposição às altas temperaturas e umidade relativa do ar faz com que os bovinos leiteiros apresentem alterações comportamentais, fisiológicas e endócrinas, o que compromete sua produtividade (COSTA, 2014; DAMASCENO, 2020, ANDRADE et al., 2021; OLIVEIRA et al., 2021, FERREIRA, 2016). Neste sentido, os efeitos do estresse térmico em vacas lactantes são ainda mais acentuados, tendo em vista que estes animais possuem metabolismo acelerado, causando maior produção de calor endógeno (FERREIRA, 2016; COSTA, 2014; DAMASCENO, 2020; BLACK et al., 2013; PILATTI & VIEIRA, 2019).

No cenário supracitado, o monitoramento das condições ambientais é primordial em atividades produtivas relacionadas à pecuária leiteira, visto que, em condições adversas, os animais buscam primariamente manter estável as funções vitais e, somente após satisfeita estas condições, manter as funções produtivas (ZIMBELMAN & COLLIER, 2011, BAÊTA & SOUZA, 2010; FERREIRA, 2016). A exposição de bovinos leiteiros a condições ambientais inadequadas pode, portanto, reduzir os níveis de conforto térmico e trazer reflexos negativos na produtividade (POLSKY & VON KEYSERLINGK, 2017; COSTA, 2014; FERREIRA, 2016; ANDRADE et al., 2021; PERISSINOTTO & MOURA, 2007; OLIVEIRA et al., 2022, DAMASCENO, 2020).

Diante do exposto, por meio deste estudo de revisão, objetivou-se discutir os efeitos dos principais elementos climáticos sobre o conforto térmico de bovinos leiteiros mantidos em sistemas de confinamento.

2 | ELEMENTOS CLIMÁTICOS E SEUS EFEITOS SOBRE BOVINOS LEITEIROS

Os elementos climáticos ou atmosféricos são aqueles que conferem dinâmica ao clima. Os principais são temperatura de bulbo seco do ar (t_{bs}), umidade relativa do ar (UR), velocidade do ar (v_{ar}), pluviosidade, nebulosidade, radiação e irradiação terrestre (DAMASCENO, 2020; BAÊTA & SOUZA, 2010; FERREIRA, 2016). Como as regiões de climas tropical e subtropical são caracterizadas por altos níveis de radiação solar e temperatura, o estresse térmico é um dos principais fatores que limitam o desenvolvimento e o desempenho dos animais e, portanto, o estudo destes elementos é muito importante (AZEVEDO & ALVES, 2009; BAÊTA & SOUZA, 2010; ALMEIDA et al., 2013. PILATTI & VIEIRA, 2017).

2.1 Temperatura de bulbo seco do ar

A temperatura é definida por Costa (1971) como sendo um conceito físico que possibilita quantificar o estado térmico de um sistema, estabelecendo sua maior ou menor capacidade de transmitir calor. De forma complementar ao conceito apresentado, Damasceno (2020) e Silva (2000) afirmam que a temperatura é a manifestação da energia contida no meio, representando um estado atmosférico que dá a sensação de calor ou de frio.

Do ponto de vista de conforto térmico animal, a temperatura de bulbo seco do ar (t_{bs}) é o fator bioclimático mais importante (RICCI et al., 2013; BAÊTA & SOUZA, 2010; FERREIRA, 2016). A t_{bs} é a variável climática mais fácil de ser aferida, e geralmente se utilizam termômetros para tal fim. Atualmente, existem diversos modelos de termômetros, conforme ilustrado na Figura 1. Vale destacar que, para avaliar o ambiente térmico que os animais estão expostos, estes equipamentos devem estar calibrados e ser instalados próximos ao centro de massa dos animais, para que seja possível caracterizar o mais próximo possível o microclima que o animal está exposto na instalação (DAMASCENO, 2020; BAÊTA & SOUZA, 2010; FERREIRA, 2016).



Figura 1. Diferentes tipos de termômetros: de mercúrio para fixação em parede (A) e registradores automáticos (B-C).

Fontes: (A) TERMOLAND, 2023; (B) HIGHMED, 2023; (C) TEQUIPAMENT, 2023.

Damasceno (2020), Andrade et al. (2021), Ferreira (2016) corroboram que a variável t_{bs} tem efeito direto sobre bovinos leiteiros. Quaisquer alterações nos valores de t_{bs} podem promover, em curtos período, alterações fisiológicas e comportamentais destes animais. Contudo, Baêta & Souza (2010) e Ferreira (2016) sustentam que conhecer somente os valores de t_{bs} em um determinado momento é insuficiente para definição da condição de conforto térmico animal. Tal insuficiência dá-se porque outros elementos climáticos, como umidade relativa do ar, velocidade do ar e incidência de radiação, também influenciam as condições de conforto térmico (DAMASCENO, 2020; SILANIKOVE, 2000; SILVA et al., 2010).

Portanto, é muito importante que os animais sejam mantidos em locais com condições ambientais situadas dentro da zona de termoneutralidade, que corresponde a faixa de t_{bs} na qual a taxa metabólica do animal é mínima. Dentro desta faixa, o animal saudável consegue manter a temperatura corporal estável com a mínima mudança na atividade metabólica (BAÊTA & SOUZA, 2010; FERREIRA, 2016; DAMASCENO, 2020).

Não existe, atualmente, consenso na literatura sobre a delimitação exata da zona de termoneutralidade para bovinos leiteiros, dado que esta definição depende também da umidade relativa do ar, das adaptações metabólicas e do estágio de vida do animal. Porém, diversos estudos foram realizados com o objetivo de que delimitar os valores da faixa de termoneutralidade para bovinos leiteiros, para as diferentes condições encontradas. De acordo com Roenfeldt (1998), o intervalo entre 5 e 25 °C é termicamente confortável para bovinos de leite. Para Nääs (1989), a faixa de termoneutralidade está situada em temperaturas mais baixas, entre 4 e 24 °C. Já esta faixa para bovinos leiteiros de alta produção é mais baixa, e de acordo com Robinson (2004) compreende valores de 4°C a 15°C. A maior restrição dos valores de t_{bs} para este caso está relacionada à necessidade do animal de alta produção compensar, via ambiente, o excesso de calor produzido pelo seu metabolismo.

É importante mencionar que bovinos são considerados animais homeotérmicos, ou seja, animais que possuem capacidade de manter a temperatura interna corporal aproximadamente constante, independente das variações climáticas do meio externo (BAÊTA & SOUZA, 2010; FERREIRA, 2016). Porém, quando inseridos em ambientes de t_{bs} elevadas, a produção de calor pode exceder a dissipação. Neste caso, para combater tal situação estressora, a atividade metabólica é reduzida, para que a produção de calor endógeno se reduza. Além disso, para melhor dissipar o calor excedente a temperatura corporal, a frequência respiratória, a taxa de sudação e os batimentos cardíacos do animal aumentam. Desta forma, verifica-se que em situações em que o animal está sob estresse térmico são acionados mecanismos fisiológicos, com vias a reduzir e/ou neutralizar os efeitos negativos no organismo, para assegurar a manutenção do equilíbrio térmico e das funções vitais (BOND et al., 2012; FERREIRA, 2016; CALDATO et al., 2020).

2.2 Umidade relativa do ar

Damasceno (2020), Nääs (1989) e Baêta & Souza (2010) definem a umidade relativa do ar (UR) como uma variável climática que traduz a capacidade do ar em reter água. A UR busca representar a quantidade de água presente em um volume de ar em relação à quantidade de água presente na atmosfera saturada.

A aferição de UR normalmente é feita utilizando-se equipamentos conhecidos como termo-higrômetros ou psicômetros, que podem ser analógicos ou digitais (Figura 2). O psicômetro analógico é composto por dois termômetros (de bulbo seco e de bulbo úmido), sendo que o termômetro de bulbo úmido fica com seu bulbo envolto por uma faixa de tecido úmido (Figura 2A), para simular condições de atmosfera saturada (FERREIRA, 2016).

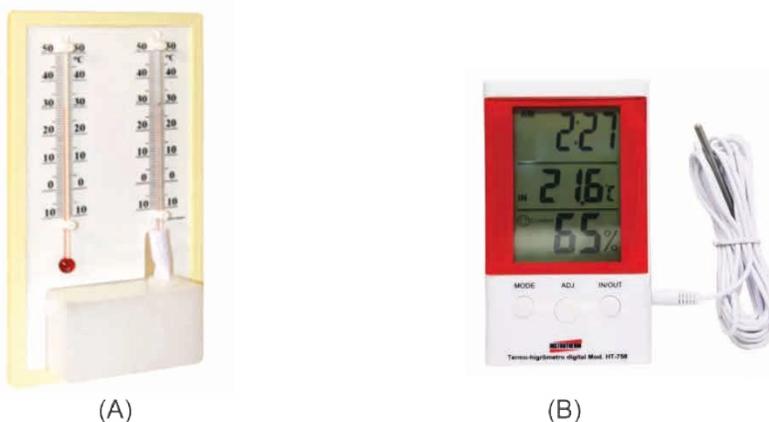


Figura 2. Psicrômetros analógico, com termômetros de bulbo seco e de bulbo úmido (A) e digital (B).
Fontes: (A) INFODATAS, 2023; (B) INSTRUTHERM, 2023.

Para utilizar o psicrômetro analógico, o tecido deve ser molhado e exposto à contínua corrente de ar. Deste modo, a temperatura de bulbo úmido cai, em virtude do calor perdido via evaporação da água (DAMASCENO, 2020). O resfriamento que ocorre é diretamente proporcional à quantidade de água presente no ar, ou seja, quanto mais seco o ar, maior o resfriamento. Portanto, quanto maior a diferença entre as temperaturas de bulbo úmido e de bulbo seco, menor a UR, sendo a recíproca também verdadeira. Em situações em que o ar está saturado, nenhuma evaporação ocorre e os dois termômetros indicam leituras idênticas, apontando que o ar atmosférico está saturado, ou seja, possui UR igual a 100% (GRIMM, 1999; DAMASCENO, 2020).

Baêta & Souza (2010) e Ferreira (2016) afirmam que a variável UR desempenha ação direta no conforto térmico e na produtividade de bovinos leiteiros, principalmente quando atrelada aos altos valores da t_{bs} , que podem desencadear diversas doenças de cunho respiratório, tais como bronquite e pneumonia. Para bovinos leiteiros em condições de confinamento, recomenda-se que a UR permaneça entre 40 e 70% (DALCIN, 2013). É importante salientar que, em galpões de confinamento, a UR pode aumentar consideravelmente, pois os animais que estão aglomerados produzem vapor d'água e, por vezes, a taxa de ventilação não é suficiente para eliminar o excesso de umidade (BAÊTA & SOUZA, 2010).

Segundo Nääs & Arcaro Júnior (2001), quando os valores da UR se dispõem abaixo de 70%, a melhor forma de se reduzir a temperatura do ar em ambiente destinado a animais em lactação e a utilização da nebulização de água. Para situações em que a umidade relativa se encontrar superior a 70%, Baêta & Souza (2010) preconizam que o uso de sistema de ventilação possibilita dissipar o calor liberado pelos animais, sendo uma alternativa viável para o controle da umidade relativa nas instalações.

2.3 Índice de Temperatura e Umidade

Uma das principais formas de se avaliar o conforto térmico dos animais é utilizando o índice de temperatura e umidade (ITU). Este índice é bastante utilizado em pesquisas para a avaliação do conforto animal, pois a coleta das variáveis de entrada [temperatura de bulbo seco do ar (t_{bs}) e umidade relativa do ar (UR)] é simples e rápida. O ITU que foi desenvolvido por Thom (1959), é o índice mais utilizado para se determinar o estresse térmico de vacas (AZEVEDO & ALVES, 2009). A equação do ITU está listada a seguir:

$$ITU = (0,8 \times t_{bs} + \left(\frac{UR}{100}\right) \times (t_{bs} - 14,4) + 46,4) \quad (1)$$

onde: t_{bs} é a temperatura de bulbo seco do ar (°C); e
UR é a umidade relativa do ar (%).

Diversos estudos vêm sendo realizados para definir os limites de ITU aplicáveis à bovinocultura de leite. Jonhson (1980) e Rosenberg et al. (1983) em seus estudos afirmam que, para bovinos de leite da raça holandesa, valores de ITU inferiores a 68 estão associados a condições de conforto térmico; entre 68 e 71, a condições de leve estresse térmico; entre 72 a 79, a condições de estresse ameno; entre 80 e 88, estresse moderado; entre 89 e 98, a situações de estresse grave; e acima de 99, ao estresse gravíssimo, podendo levar o animal a óbito. Destaca-se que elevados valores de ITU podem provocar ineficiência na produção e na reprodução, acarretando perdas econômicas na atividade de produção de leite como um todo.

2.4 Velocidade do ar

Damasceno (2020) conceitua a velocidade do ar (v_{ar}) como o movimento do ar em relação à superfície terrestre, sendo este um dos agentes responsáveis pela dissipação de calor do animal para o ambiente. Neste caso, a transferência de calor ocorre via convecção. A ventilação do ambiente, mesmo não reduzindo a t_{bs} de forma direta, pode promover aumento do processo de troca de calor por convecção e, se estiver dentro das recomendações, melhorar a sensação térmica dos animais alojados.

Em instalações de confinamento de bovinos leiteiros, deve-se manter ventilação adequada, para assegurar o favorecimento das trocas térmica, e a eliminação do excesso de umidade. Por meio da ventilação, permite-se ainda promover a renovação do ar, favorecendo a entrada de ar puro com menores concentrações de dióxido de Carbono (CO_2), além de auxiliar na remoção da amônia (NH_3) e outros gases nocivos aos animais e ao homem (BUCKLIN et al., 2009; BURGSTALLER et al., 2016).

A v_{ar} favorece a retirada de umidade da instalação sem causar problemas patológicos em bovinos leiteiros, desde que seja mantida entre 1,0 e 10,0 $m \cdot s^{-1}$. Destaca-se que, para o gado holandês confinado, v_{ar} situadas entre 2,5 e 3,5 $m \cdot s^{-1}$ são ideais. Para medir a v_{ar} , são utilizados equipamentos conhecidos como anemômetros. Estes equipamentos podem ser

utilizados para aferir a v_{ar} em condições naturais ou artificiais, nas mais diversas instalações destinadas à produção animal (DAMASCENO, 2020; NÄÄS, 1989).

Atualmente, muitos são os modelos de anemômetros disponíveis no mercado, e estes apresentam diferentes princípios de funcionamento. Dentre os modelos disponíveis, os que são mais acessíveis e utilizados em instalações de confinamento animal são os anemômetros de conchas, de hélice e de fio quente. Destaca-se que o anemômetro de conchas é um dos mais comuns, e sua estrutura pode contar com três ou quatro conchas, fixas em uma haste metálica (Figura 3A). As conchas têm por objetivo capturar o fluxo de ar e girar a haste metálica, sendo que a velocidade de giro da haste será diretamente proporcional a v_{ar} , que é calculada pelo equipamento (DAMASCENO, 2020).

O anemômetro de hélice realiza a medição do v_{ar} de forma semelhante ao anemômetro de conchas, no entanto, no lugar dos copos utilizam-se hélices (Figura 3B), que recebem o fluxo de ar diretamente. Devido a passagem do ar pelas hélices, estas rotacionam e a velocidade da rotação é medida pelo equipamento, sendo que quanto maior a velocidade de rotação, maior será a v_{ar} .

O anemômetro de fio quente tem seu princípio de funcionamento baseado na transferência de calor via convecção. O corpo deste equipamento possui uma vareta com um fino fio metálico em sua extremidade (Figura 3C). Este fio é aquecido e sua temperatura permanece constante durante o funcionamento do equipamento. Dessa forma, a v_{ar} é determinada por meio da variação da corrente elétrica que alimenta o sistema do equipamento, sendo que quanto maior for a corrente elétrica de alimentação, maior será a v_{ar} que incide sob o equipamento, pois maior será o consumo de corrente elétrica para manter a temperatura do fio constante (WICAKSANA et al. 2009; BANDARA, 2011; SIVAKAMI et al., 2020; DAMASCENO, 2020; LUNDSTRÖM, 2021).



Figura 3. Anemômetros de conchas (A), de hélices (B) e de fio quente (C).

Fontes: (A) IMPAC INSTRUMENTOS, 2023; (B) DIRECT INDUSTRY, 2023; (C) HEPTA INSTRUMENTOS, 2023.

2.5 Radiação

A radiação é um elemento climático muito importante para os bovinos leiteiros, principalmente para aqueles criados em regiões situadas próximas aos trópicos. Por meio da conceituação proposta por Baêta & Sousa (2010), a radiação pode ser entendida como forma sensível de troca de calor, via ondas eletromagnéticas e através do meio transparente, entre dois ou mais corpos, que se encontram em diferentes temperaturas. Em outras palavras, pode-se entender que a radiação é o calor recebido pelo animal proveniente de tudo que o rodeia, podendo ser emitida por todo objeto com temperatura acima do zero absoluto, tais como a radiação proveniente diretamente do Sol, das paredes da construção, do solo, de outros animais etc.

Dentre as diferentes fontes emissoras de radiação, destaca-se a emitida pelo Sol. De acordo com Damasceno (2020), a radiação solar pode chegar ao animal de forma direta ou difusa. A radiação solar direta é aquela que atinge o animal sem qualquer interação com outros objetos, ou seja, quando os raios solares incidem diretamente sob o animal. Já a radiação difusa corresponde a parte de radiação solar que é transferida aos animais de forma indireta, podendo ser refletida por meio das nuvens, poeira, parede das instalações entre outros.

A exposição de bovinos leiteiros à radiação solar é um aspecto que impacta diretamente o conforto térmico animal. Diante disso, Silva (2002) e Navarini et al. (2009), em estudos envolvendo o conforto térmico de bovinos criados a pasto sob diferentes condições de sombreamento, evidenciaram que bovinos expostos à radiação solar direta podem ter um aumento de até 0,9°C na temperatura superficial, quando comparados a animais mantidos em pequenos bosques sombreados. Estes resultados evidenciam que é importante reduzir a exposição dos animais à radiação solar direta, para evitar que ocorra aumento da temperatura corporal para além do normal, afetando a manutenção das condições de homeotermia de seus organismos. Damasceno (2020) afirma que a radiação solar detém grande participação na quantidade de calor recebido pelo animal, principalmente em sistemas de confinamento extensivo, onde o animal está exposto a condições de campo.

Um instrumento utilizado para aferir a radiação trocada pelo animal é conhecido como termômetro de globo negro, que pode ser adquirido comercialmente ou confeccionado (Figura 4). Este instrumento fornece uma estimativa dos efeitos combinados das variáveis climáticas com fundamental importância para o conforto térmico animal (energia radiante, velocidade do ar e temperatura de bulbo seco do ar), e pode fornecer informações mais representativas das convicções ambientais aos quais o animal está exposto (SOUZA et al., 2002).



(A)



(B)

Figura 4. Termômetro comercial com globo negro (A) e globos negros confeccionado com diferentes materiais – cobre e materiais alternativos (B). Fonte: (A) ASA INSTRUMENTOS, 2023 (B) CAMERINI et al., 2011.

3 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo, foram discutidos conceitos relacionados aos elementos climáticos temperatura de bulbo seco do ar (t_{bs}), umidade relativa do ar (UR), velocidade do ar (v_{ar}), radiação, e índices aplicados à avaliação do conforto térmico animal, e seus efeitos sobre o conforto térmico e desempenho produtivo de bovinos leiteiros mantidos em sistemas de confinamento.

Por meio da sua realização, reforçou-se que a adequação das condições climáticas associadas ao conforto térmico animal é uma importante ferramenta para garantir a produtividade do rebanho, e assim garantir lucros ao produtor. Desta forma, é fundamental realizar o monitoramento contínuo das variáveis térmicas, uma vez que a exposição dos animais a condições ambientais desfavoráveis, mesmo que por curtos períodos, pode afetar diretamente a produção e o bem-estar destes animais, comprometendo não somente o rendimento econômico da unidade de produção, mas também a integridade física dos animais alojados.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, G. L., PANDORFI, H., BARBOSA, S. B., PEREIRA, D. F., GUISELINI, C., ALMEIDA, G. A. Comportamento, produção e qualidade do leite de vacas Holandês-Gir com climatização no curral. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 8, p. 892- 899, 2013.

ANDRADE, R.R.; TINÔCO, I.F.F.; DAMASCENO, F.A.; FERRAZ, G.A.S.; FREITAS, L.C.S.R.; FERREIRA, C.F.S.; BARBARI, M. BAPTISTA, F.J.F.; COELHO, D.J.R. Spatial distribution of bed variables, animal welfare indicators, and milk production in a closed compost-bedded pack barn with a negative tunnel ventilation system. **Journal of Thermal Biology**, v.23, p.103111, 2021. DOI: 10.1016/j.jtherbio.2021.103111

ASA INSTRUMENTOS. Medidor de stress térmico / termômetro de globo - AK887. Disponível em: <<https://www.asainstrumento.com.br/seguranca-do-trabalho/termometros-de-globo/ak887-medidor-de-stress-termico-ibutg>>. Acesso em: 22 jan. 2022.

AZEVEDO, D. M. R.; ALVES, A. A. **Bioclimatologia aplicada à produção de bovinos leiteiros nos trópicos**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2009. 83 p.

BAÊTA, F.C.; SOUZA, C.F. **Ambiência em edificações rurais: Conforto térmico**. 2.ed. Viçosa: Editora UFV, 2010. 269p.

BANDARA, A. Constant Current Hot-wire Anemometer. 2011. Tese de Doutorado. Ph. D. Thesis, University of Peradeniya.

BLACK, R.A.; TARABA, J.L.; DAY, G.B.; DAMASCENO, F.A.; BEWLEY, J.M. Compost bedded pack dairy barn management, performance, and producer satisfaction. **Journal of Dairy Science**, v.96, p.8060–8074, 2013. DOI: 10.3168/jds.2013-6778.

BOND, G. B.; ALMEIDA, R. D.; OSTRENSKY, A.; MOLENTO, C. F. M. Métodos de diagnóstico e pontos críticos de bem-estar de bovinos leiteiros. **Ciência Rural**, v. 42, n. 7, p. 1286- 1293, 2012.

BUCKLIN, R. A.; BRAY, D. R.; MARTIN, J. G.; CARLOS, L.; CARVALHO, V. Environmental Temperatures in Florida Dairy Housing. **Applied engineering in agriculture**, v. 25, n. 5, p. 727–735, 2009.

BURGSTALLER, J.; RAITH, J.; KUCHLING, S.; MANDL, V.; HUND, A.; KOFLER, J. CLAW health and prevalence of lameness in cows from compost bedded and cubicle freestall dairy barns in Austria. **The Veterinary Journal**, v. 216, p. 81-86, 2016.

CALDATO, E. M. R.; CALDATO, A.; MARCONDES, M. I.; ROTTA, P. P. **Manual técnico de construção e manejo de Compost Barn para vacas leiteiras**. 1.ed. Viçosa: Editora UFV, 2020. 35 p.

CAMERINI, N. L.; MOTTA, J. K. M.; MENDES, L. B.; NASCIMENTO, J. W. B.; FURTADO, D. A. Avaliação de instrumentos agrometeorológicos alternativos para o monitoramento da ambiência em galpões avícolas. **Revista Engenharia na Agricultura-REVENG**, v. 19, n. 2, p. 125-131, 2011.

COSTA, A.N.L. **Estresse térmico em fêmeas bovinas Girolando: ¾ hondês ¼ gir vs. ½holandês ½ gir, criadas em clima semiárido no Estado do Ceará**. Tese. 99 p. T esse (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2014.

COSTA, E. C. da. **Física Industrial**. Tomo I, Termodinâmica, 1ª Parte. Porto Alegre. Editora Globo. 1971. 262 p.

DALCIN, V.C. **Parâmetros fisiológicos em bovinos leiteiros submetidos ao estresse térmico**. 2013. Dissertação (Mestrado) –Universidade Federal do Rio Grande do Sul,Porto Alegre.

DAMASCENO, F.A. **Compost Barn como uma alternativa para a pecuária leiteira**. 1.ed. Divinópolis: Adelante, 2020. 396p.

DIRECT INDUSTRY. Termo-anemômetro de hélice PCE-VA 20. Disponível em: <https://www.directindustry.com/pt/prod/pce-deutschland-gmbh/product-37414-1704604.html>. Acesso em: 22 jan. 2023.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Anuário Leite 2020: Leite de vacas felizes**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1124722/anuario-leite-2020-leite-de-vacas-felizes>>. Acesso em: 05 mai. 2021.

FACÓ, O.; LÔBO, R. N. B.; FILHO, R.M.; MOURA, A. A. A. Análise do Desempenho Produtivo de Diversos Grupos Genéticos Holandês x Gir no Brasil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.5, p.1944-1952, 2002.

FERREIRA, R. A. **Maior produção com melhor ambiente - para aves, suínos e bovinos**. 3a edição, Aprenda Fácil, 528p, 2016.

FERRO, F. R. A.; NETO, C. C. C.; TOLEDO FILHO, M. R.; FERRI, S. T. S.; MONTALDO, Y. C. Efeito do estresse calórico no desempenho reprodutivo de vacas leiteiras. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.25, n.5, p.1–25, 2010.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. Dairy Market Review - Overview of global dairy market developments in 2021. Disponível em: <<http://www.fao.org/publications/card/en/c/CA8341EN>>. Acesso em 10 de Maio de 2022.

GRIMM, A. M. **Material básico de estudo para os alunos da Disciplina Meteorologia Básica da Universidade Federal do Paraná**. 1999. Disponível em: <http://fisica.ufpr.br/grimm/>. Acesso em 18 de agosto de 2020.

HEPTA INSTRUMENTOS. Termo anemômetro de fio quente com data logger - DT-8880. Disponível em: <<https://hepta-instrumentos.com.br/produtos/termo-anemometro-de-fio-quente-com-data-logger-dt-8880-cem/>>. Acesso em: 22 jan. 2023.

HIGHMED. Datalogger de temperatura e umidade - HMS-176. Disponível em: <https://www.highmed.com.br/hms-176_datalogger_temperatura_umidade>. Acesso em 22 jan. 2023.

IMPAC INSTRUMENTOS. Anemômetro de Copo Digital Portátil AM-4220 Lutron /Impac. Disponível em: <<https://www.impact.com.br/anemometro-de-copo-digital-portatil-am-4220-lutron-impac>>. Acesso em: 22 jan. 2023.

INFODATAS. Termo-higrômetro analógico bulbo seco e úmido. Disponível em: Disponível em: <<https://www.infodatas.com.br/produto/termo-higrometro-analogico-bulbo-seco-e-umido-519503000>>. Acesso em: 22 jan. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Produção da Pecuária Municipal 2021. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/>>. Acesso em 01 de JUL de 2022.

INSTRUTHERM. Termo-higrômetro digital portátil, com sensor interno e externo, para mesa ou parede com relógio e imã mod. HT-750. Disponível em: <<https://www.instrutherm.com.br/termo-higrometro-mod-ht-750-digital-portatil-com-sensor-interno-e-externo-para-mesa-ou-parede-com-relogio>>. Acesso em: 22 de jan. 2023.

JOHNSON, H.D. Environmental management of cattle to minimize the stress of climatic change. **International Journal of Biometeorology**, Lisse, v.24, p.65-78, 1980.

LUNDSTRÖM, Hans. Investigation of heat transfer from thin wires in air and a new method for temperature correction of hot-wire anemometers. **Experimental Thermal and Fluid Science**, v. 128, p. 110403, 2021.

- NÃÃS, I. A.; ARCARO, I. J. Influência de ventilação e aspersão em sistemas de sombreamento artificial para vacas em lactação em condições de calor. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.5, n.1, p.139-142, 2001.
- NÃÃS, I.A. **Princípios de conforto térmico na produção Animal**. São Paulo: Ícone, 1989. 183p.
- OLIVEIRA, C. E. A.; TINÔCO, I. D. F. F.; DAMASCENO, F. A.; OLIVEIRA, V. C. D.; FERRAZ, G. A. E. S.; SOUSA, F. C. D.; BARBARI, M. Mapping of the Thermal Microenvironment for Dairy Cows in an Open Compost-Bedded Pack Barn System with Positive-Pressure Ventilation. *Animals*, v. 12, n. 16, p. 2055, 2022.
- OLIVEIRA, C.E.A.; DAMASCENO, F.A.; FERRAZ, G.A.S.; NASCIMENTO, J.A.C.; VEGA, F.A.O.; TITÔCO, I.F.F.; ANDRADE, R.R. Assessment of spatial variability of bedding variables in compost bedded pack barns with climate control system. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.93, p.20200384, 2021. DOI: 10.1590/0001-3765202120200384.
- PERISSINOTTO, M.; MOURA, D.J. Determinação do conforto térmico de vacas leiteiras utilizando a mineração de dados. **Revista Brasileira de Engenharia de Biossistemas**, v.1, p.117–126, 2007. DOI: 10.18011/bioeng 2007 v1n2 p 117-126.
- PILATTI, J. A.; VIEIRA, F. M. C. Environment, behavior and welfare aspects of dairy cows reared in compost bedded pack barns system. **Journal of Animal Behaviour and Biometeorology**, v. 5, n. 3, p. 97-105, 2017.
- PILATTI, J. A.; VIEIRA, F. M. C.; RANKRAPE, F.; VISMARA, E. S. Diurnal behaviors and herd characteristics of dairy cows housed in a compost-bedded pack barn system under hot and humid conditions. **Animal**, v. 13, n. 2, p. 399-406, 2019.
- POLSKY, L.; VON KEYSERLINGK, M. A. Invited review: Effects of heat stress on dairy cattle welfare. *Journal of dairy science*, v. 100, n. 11, p. 8645-8657, 2017.
- RICCI, G. D.; ORSI, A. M.; DOMINGUES, P. F. Estresse calórico e suas interferências no ciclo de produção de vacas de leite: revisão. **Veterinária e zootecnia**, v. 20, n. 3, p. 9-18, 2013.
- ROBINSON, N. E. Homeostase, Termorregulação. In: CUNNINGHAM, J. G. **Tratado de Fisiologia Veterinária**. 3. ed. Rio de Janeiro, RJ: Guanabara Koogan, 2004. p. 550-561.
- ROENFELDT S. You can't afford to ignore heat stress. **Dairy Herd Management**. v.35. p. 6-12. 1998.
- ROSENBERG, N. J.; BLAD, B. L.; VERMA, S. B. **Microclimate: the biological environment**. John Wiley & Sons, 1983. 495 p.
- SILANIKOVE, N. Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. **Livestock Production Science**, Philadelphia, v. 67, n. 1, p. 1-18, 2000.
- SILVA, E. M. N.; SOUZA, B. B.; SILVA, G. A. Parâmetros fisiológicos e hematológicos de caprinos em função da adaptabilidade ao semiárido. **Agropecuária Científica no Semiárido**, Campina Grande, v. 6, n. 3, p. 01–06, 2010.
- SILVA, F. L. R.; ARAÚJO, A. M. Desempenho produtivo em caprinos mestiços no Semi-árido do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 29, n. 4, p. 1028- 1035, 2000.

SILVA, I. J. Efeitos da climatização do curral de espera na produção de leite de vacas holandesas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 2036-2042, 2002.

SIVAKAMI, V.; VASUKI, B. Experimental Investigation and Uncertainty Analysis of Constant Voltage Anemometer Using Low-Cost Sensor. **Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Electrical Engineering**, v. 44, n. 4, p. 1605-1617, 2020.

TEQUIPAMENT. HOBO by Onset UX100-003 - Temperature/Relative Humidity Data Logger. Disponível em: < <https://www.tequipment.net/HOBO-by-Onset/UX100-003/Temperature-Dataloggers> >. Acesso em 22 jan. 2023.

TERMOLAND. Termômetro ambiente com base em madeira clássico INCOTERM TA 214.05.1.00. Disponível em: < <https://www.termoland.com.br/termometro-ambiente-com-base-em-madeira-classico-incoterm-ta-21405100>>. Acesso em 22 jan. 2023.

THOM, E. C. The discomfort index. **Weatherwise**, Washigton, v.12, n.2, p. 57-61, 1959.

VIEIRA, F.M.C.; SOARES, A.A.; HERBUT, P.; VISMARA, E.S.; GODYŃ, D.; SANTOS, A.C.Z. DOS; LAMBERTES, T.S.; CAETANO, W.F. Spatio-thermal variability and behaviour as bio-thermal indicators of heat stress in dairy cows in a Compost Barn: A case study. **Animals**, v.11, p.1197, 2021. DOI: 10.3390/ani11051197.

WICAKSANA, F; FANE, A. G.; LAW, A. W. The use of constant temperature anemometry for permeate flow distribution measurement in a submerged hollow fibre system. **Journal of Membrane Science**, v. 339, n. 1-2, p. 195-203, 2009.

ZIMBELMAN, R. B.; COLLIER, R. J. Heat hits cows sooner than we thought. **Hoard's Dairyman**. v. 25, p. 281, 2011.