



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS DE CHAPADINHA
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA



Luanne da Silva Freitas

VALIDAÇÃO DE SÍTIOS ANATÔMICOS PARA AVALIAÇÃO DO ESTRESSE TÉRMICO EM
BOVINOS LEITEIROS POR INFRAVERMELHO

CHAPADINHA - MA
2023

Luanne da Silva Freitas

VALIDAÇÃO DE SÍTIOS ANATÔMICOS PARA AVALIAÇÃO DO ESTRESSE TÉRMICO EM
BOVINOS LEITEIROS POR INFRAVERMELHO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada à Universidade Federal do Maranhão como exigência parcial para obtenção do título de BACHAREL em Engenharia Agrícola.

Orientador Prof. Dr. Pedro Augusto de Oliveira Morais

Coorientador Prof. Dr. Nítalo André Farias Machado

CHAPADINHA- MA
2023

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

da Silva Freitas, Luanne.

Validação de sítios anatômicos para avaliação do estresse térmico em bovinos leiteiros por infravermelho / Luanne da Silva Freitas. - 2023.

6 f.

Coorientador(a): Nítalo André Farias Machado.

Orientador(a): Pedro Augusto de Oliveira Morais.

Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha, 2023.

1. Conforto térmico. 2. Estresse térmico. 3. Imagens térmicas. 4. Monitoramento. I. de Oliveira Morais, Pedro Augusto. II. Farias Machado, Nítalo André. III. Título.

Freitas, LS **Validação de sítios anatômicos para avaliação do estresse térmico em bovinos leiteiros por infravermelho**. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca examinadora no Centro de Ciências de Chapadinha na Universidade Federal do Maranhão, como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Agrícola.

Monografia apresentada em: 21/07/2023

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Pedro Augusto de Oliveira Morais
(**Orientador**)

Prof. Dr. Nítalo André Farias Machado
(**Coorientador**)

Prof. Dr. Patrício Gomes Leite
(**Avaliador**)

Prof. Dr. Jordânio Inacio Marques
(**Avaliador**)

VALIDAÇÃO DE SÍTIOS ANATÔMICOS PARA AVALIAÇÃO DO ESTRESSE TÉRMICO EM BOVINOS LEITEIROS POR INFRAVERMELHO

Luanne da Silva Freitas^a, Nítalo André Farias Machado^b, Pedro Augusto de Oliveira Morais^c

^aCentro de Ciências de Chapadinha. Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha, Maranhão, Brasil

^bProfessor do Centro de Ciências de Chapadinha. Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha, Maranhão, Brasil

^cProfessor do Centro de Ciências de Chapadinha. Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha, Maranhão, Brasil

Abstract

Heat stress has been a challenge in global livestock farming, especially in dairy cattle production, as it negatively impacts milk production. In addition to that, climate change directly increases the risk of this heat stress, making the monitoring of temperature and humidity essential. Given this issue, the Temperature-Humidity Index is a commonly used method for environmental management, and it is considered non-invasive. In this study, the objective is to evaluate infrared thermography (IR thermography) as a non-invasive tool for assessing thermal stress in different anatomical sites of dairy cattle. Thus, IR thermography was used in four dairy cattle and revealed that, although it can be considered a potential tool for the industry, it cannot be recommended as a standalone measure of bovine physiological condition in response to stress. Therefore, further research is needed to refine the accuracy of infrared technology and make the method more adaptable for commercial use.

Keywords: Heat stress, thermal comfort, monitoring, thermal imaging

Resumo

O estresse térmico tem sido um desafio na pecuária global, especialmente na produção de bovinos leiteiros, pois provoca impactos negativos na produção de leite. Somam-se a isso, as mudanças climáticas, as quais aumentam diretamente o risco desse estresse térmico, tornando essencial o monitoramento da temperatura e umidade. Diante da problemática, o Índice de Temperatura e Umidade é um método comumente usado para a gestão ambiental, e é considerado não invasivo. Neste estudo, tem-se como objetivo avaliar a termografia infravermelha (TRI) como ferramenta não invasiva para a avaliação do estresse térmico de diferentes sítios anatômicos de bovinos leiteiros. Assim, a TRI foi utilizada em quatro bovinos leiteiros e revelou que, embora a termografia infravermelha possa ser considerada uma ferramenta potencial para o setor, não pode ser recomendada como uma medida autônoma da condição fisiológica de bovinos em resposta ao estresse. Sendo, portanto, necessárias mais pesquisas para refinar a precisão da tecnologia infravermelha e tornar o método mais adaptável ao uso em ambientes comerciais.

Palavras-chave: Estresse térmico, conforto térmico, monitoramento, imagens térmicas

1. Introdução

O estresse térmico tem sido um fator limitante na pecuária global, em especial na produção de bovinos leiteiros. Quando a temperatura e a umidade do ar excedem os níveis críticos de conforto térmico desses animais, provocam impactos negativos na produção de leite, na saúde e no bem-estar. (Polsky and von Keyserlingk, 2017). Nesse sentido, o estresse térmico tornou-se uma preocupação para a indústria leiteira global, especialmente em países em desenvolvimento, responsáveis por grande parte da produção (West, 2003), sendo esta pela carga térmica, que refere-se a quantidade de calor que precisa ser adicionada ou removida de um sistema, por unidade de tempo, para manter as condições térmicas desejadas.

Esse cenário é ainda mais complicado à luz das mudanças climáticas. Segundo dados da Organização das Nações Unidas,

as alterações climáticas aumentam diretamente o risco e magnitude do estresse térmico em animais de criação (FAO et al., 2021). Diante disso, o monitoramento da temperatura e da umidade na produção de bovinos é essencial. A estratégia mais comum para monitorar a carga de calor e auxiliar na gestão ambiental nas propriedades rurais é a utilização do Índice de Temperatura e Umidade (ITU) (Melo et al., 2022). O ITU combina de forma abrangente os efeitos da temperatura e da umidade relativa do ar sobre o desempenho dos animais (Rosanova et al., 2020). Essa estratégia pode contribuir para melhorar a eficiência produtiva das propriedades leiteiras (Mbuthia et al., 2022; Lallo et al., 2018; Habeeb et al., 2018).

Contudo, essa abordagem não fornece respostas individualizadas, ou seja, não permite obter uma resposta específica de determinado animal à carga de calor. Por essa razão, a associação do ITU, com parâmetros fisiológicos, como, a frequência res-

piratória e temperatura retal, é comumente utilizada (Wheelock et al., 2010). Por outro lado, essa abordagem é invasiva e, em certos casos, complexa para a realidade da rotina operacional de fazendas, exigindo a contenção dos animais ou treinamento específico do observador ou do uso de máquinas para aquisição dos dados para análise comportamental (Machado et al., 2021).

Por isso, tem sido discutida uma provável contaminação nos resultados com esse método de aquisição da temperatura com outros efeitos. Nessa direção, metodologias menos invasivas e mais confiáveis devem ser desenvolvidas e incentivadas (Leão et al., 2015). A termografia infravermelha (TRI), por exemplo, é uma técnica que permite medir a temperatura de um objeto à distância, sem entrar em contato, por meio da detecção da radiação infravermelha emitida pelo objeto. Esta técnica tem sido amplamente utilizada na pecuária de precisão. No entanto, a manipulação dos dados precisa de uma série de parâmetros para garantir a eficiência técnica, como: as janelas térmicas, a emissividade e as condições ambientais (Daltro et al., 2017; Chacur et al., 2016).

Diante disso, o presente trabalho visa avaliar a TRI como ferramenta não invasiva para a avaliação do estresse térmico de diferentes sítios anatômicos de bovinos leiteiros.

2. Materiais e métodos

2.1. Ética

Neste estudo, todos os procedimentos experimentais seguiram as diretrizes e foram aprovados pelo Comitê de Cuidados e Uso de Animais da Universidade Federal do Maranhão (Processo nº 23115.023701/2022-49).

2.2. Descrição do Estudo e Procedimento Experimental

O estudo foi conduzido na Unidade de Nutrição de Gado de Leite da Universidade Federal do Maranhão, localizado em Chapadinha, MA (03°44'33"S, 43°21'21"W), Brasil. O padrão climático da região é o tropical úmido (Aw) de acordo com a classificação de Köppen, com precipitação e temperatura média anual de 1678,9 mm e 27,3 °C (Aparecido et al., 2023). Um total de quatro bovinas adultas, mestiças de Holandês-Gir, com sete anos de idade e peso corporal de 550 ± 10 kg foram selecionadas e avaliadas durante o intervalo de junho a julho de 2023. Esses animais foram alojados em baias individuais (2,8 m² por animal em um estábulo coberto tipo *Tie Stall*, com telhas metálicas e lanternim, sem paredes laterais e com pé direito de 4 m, permitindo livre ventilação natural. A alimentação foi baseada em concentrado fornecido em cocho individual, complementado com pastagem de 30 kg de matéria natural por vaca, S4 (420kg), S1 (180 kg). O concentrado de 2 kg de milho, 1,5 kg de soja, 150 g de sal por animal foi fornecido duas vezes por dia, às 8 h e 16 h, horário local (GMT-03h). A água estava disponível *ad libitum* em bebedouros. O treinamento dos animais, utilizando os princípios da habituação e condicionamento, foi realizado, com o objetivo de reduzir o tempo despendido para o condicionamento dos animais e as respostas de medo à presença humana.

2.3. Avaliação térmica

Os dados ambientais de temperatura do ar, umidade relativa do ar e temperatura de globo negro, foram determinados por meios dos sensores DHT22 (AM2302) e DS18B20, respectivamente, foram medidos durante todo período experimental usando uma estação meteorológica automatizada por meio de datalogger Campbell CR1000, piranômetro e sensores Campbell WindSonic 4 (Campbell Scientific®, Logan, UT, EUA), instalado no centro do piquete onde os animais foram avaliados. O perfil microclimático foi caracterizado pelo Índice de Temperatura e Umidade (ITU), segundo Berman et al. (2016), conforme a Equação 1. As ocorrências do *Livestock Weather and Safety Index* (LWSI) foram classificadas em quatro categorias: normal ($ITU \leq 74$), alerta ($75 \leq ITU \leq 78$), perigo ($79 \leq ITU \leq 83$) e emergência ($ITU \geq 84$), usando o ITU.

$$ITU = 3,43 + (1,058 \times TA) - (0,293 \times UR) + (0,0164 \times TA \times UR) + 35,7 \quad (1)$$

Onde: TA é a temperatura do ar (°C) e UR é a umidade relativa (%).

2.4. Indicadores fisiológicos de estresse térmico

A coleta de dados foi realizada uma vez por semana, das 7h às 17 h, horário local (GMT-03h), em intervalos de quatro avaliações. Inicialmente, a frequência respiratória foi determinada sem interferência física, observando-se o movimento do flanco dos animais por um período de 30 segundos. Após a contenção dos animais no brete, a temperatura retal foi estimada, por meio de um termômetro tipo espeto Akso AK05 (AKSO Instrumentos de Medição, São Leopoldo, RS, Brasil) com precisão de $\pm 0,5^\circ\text{C}$, colocados diretamente no reto do animal, a uma profundidade que o bulbo tivesse em contato com a mucosa retal. As imagens termográficas foram capturadas durante as avaliações.

2.5. Conjunto e avaliações de imagem termográficas

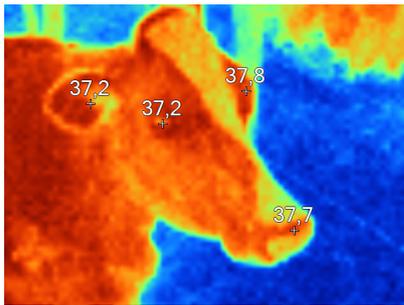
Foram obtidas um total de 112 imagens termográficas capturadas por uma câmera Fluke TiS10 (Fluke Systems®, Everett, WA, EUA). Todas as imagens foram adquiridas a uma distância de um metro dos animais. O ajuste do foco e a calibração dos parâmetros de temperatura e umidade relativa do local de coleta foram realizados, automaticamente, pelo equipamento, enquanto a emissividade foi configurada para 0,98, valor recomendado para tecidos biológicos (Soerensen et al., 2014). As imagens foram obtidas com resolução de 4800 pixels e armazenadas no formato Fluke .is2. A análise das imagens termográficas foi conduzida utilizando o software SmartView Classic 4.4® (Fluke Corporation®, Everett, WA, EUA). Para determinar a temperatura das regiões auricular, ocular e do focinho dos animais, foram utilizados marcadores-ponto, conforme Figura 1.

2.6. Análise estatística

Todos os dados analisados nesse estudo foram realizados dentro do programa The jamovi project (2022) (Version 2.3)



(a)



(b)

Figura 1: Imagem RGB (a) e Imagem térmica (b)

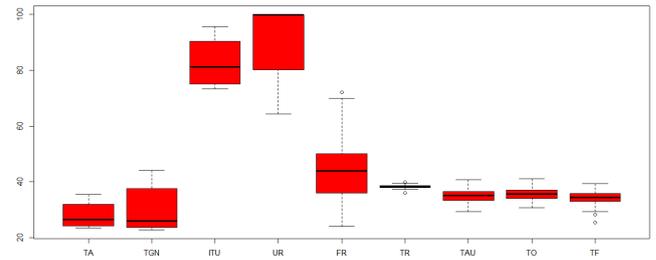


Figura 2: Boxplot dos dados ambientais e dos parâmetros de temperatura

De acordo com a Tabela 1, a temperatura do ar (TA) diária teve uma média de 27,8°C, variando aproximadamente 29,5°C (com mínima de 23,5°C e máxima de 35,5°C). A temperatura de globo negro (TGN) apresentou média de 30,1°C, com um desvio padrão de 7,05°C. Os valores extremos para TGN foram observados em 44,1°C (máximo) e 22,8°C (mínimo). No que se refere à umidade relativa do ar (UR), a média diária foi de 90,7%, com um desvio padrão, de aproximadamente 12,2%. Os valores extremos registrados para UR foram de 99,9% (máximo) e 64,4% (mínimo).

Ao considerar a temperatura e a umidade relativa do ar é possível ter uma visão mais ampla da carga térmica ambiental e do risco de estresse térmico. Neste estudo, observou-se que o Índice de Temperatura e Umidade (ITU) apresentou uma média diária de 82,6 unidades, com um desvio padrão de, aproximadamente 7,15 unidades. Os valores extremos registrados para o ITU foram de 95,6 (máximo) e 73,2 (mínimo). Portanto, a média do ITU alinha-se com o limiar de “perigo” para o conforto térmico dos animais ($79 \leq ITU \leq 83$), de acordo com o *Livestock Weather and Safety Index* (LWSI). No entanto, é importante enfatizar que, em certos casos, ocorrem valores que ultrapassam esse limiar, classificando-se como situações de “emergência” em termos de conforto térmico dos animais.

Neste estudo, foram examinadas as correlações entre as leituras obtidas por meio da termografia de infravermelho (IRT) e os registros da temperatura retal e frequência respiratória de bovinos leiteiros, conforme apresentado na matriz de correlação de Pearson (Tabela 2). De maneira geral, identificou-se uma fraca correlação positiva entre as leituras, usando IRT com esses indicadores fisiológicos de estresse. Observou-se uma correlação positiva fraca, mas significativa, entre as leituras de temperatura auricular e as medidas da temperatura retal, indicando uma tendência de associação entre as variáveis. Por outro lado, não foram encontradas correlações significativas entre as medições de temperatura ocular e temperatura do focinho por meio da IRT e a temperatura retal dos animais. Além disso, a análise da matriz de correlações de Pearson revelou associações fracas entre as medições da frequência respiratória dos animais e as leituras obtidas por IRT, mas identificou-se uma correlação significativa para a temperatura do focinho e a medição da frequência respiratória.

[Computer Software]. R Core Team (2021). Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva para obtenção de média, mediana, mínimo, máximo, desvio padrão e erro padrão. A hipótese de normalidade dos resíduos foi verificada por meio do teste de Shapiro-Wilk ($P < 0,05$). O grau de correlação entre os indicadores fisiológicos de estresse térmico e as medições termográficas foi avaliado por meio da análise de correlação linear de Pearson ($P < 0,05$). Além disso, uma análise de concordância baseada no diagrama de Bland-Altman foi implementada para examinar a concordância entre os métodos, utilizando ajustes de curva com nível de confiança de 95%. A presença de polarização entre os dados foi avaliada pela verificação da ocorrência de significância ($P < 0,05$) na inclinação da reta de regressão ajustada aos diagramas de Bland-Altman.

3. Resultado e Discussão

A Tabela 1 apresenta os resultados da análise estatística descritiva dos dados ambientais coletados durante o estudo.

Tabela 1: Estatística Descritiva

	Média	Erro-padrão	Mediana	Desvio-padrão	Variância	Mínimo	Máximo	Shapiro-Wilk	
								W	p
Temperatura do Ar	27,8	0,2005	26,5	3,681	13,547	23,5	35,5	0,860	< 0,001
Temperatura do Globo Negro	30,1	0,3838	26,0	7,046	49,653	22,8	44,1	0,824	< 0,001
Índice de Temperatura e Umidade	82,6	0,3895	81,3	7,151	51,136	73,2	95,6	0,873	< 0,001
Umidade Relativa	90,7	0,6633	99,9	12,176	148,253	64,4	99,9	0,737	< 0,001
Frequência Respiratória	44,2	1,0219	44,0	10,815	116,970	24	72	0,970	0,013
Temperatura Retal	38,3	0,0512	38,3	0,542	0,294	36,0	39,8	0,971	0,014
Temperatura Auricular	35,0	0,2314	35,2	2,449	5,997	29,4	40,8	0,990	0,607
Temperatura Ocular	35,7	0,2024	35,7	2,142	4,588	30,6	41,1	0,985	0,243
Temperatura do Focinho	34,4	0,2141	34,5	2,266	5,133	25,5	39,4	0,978	0,057

A Figura 2 apresenta o boxplot das variáveis ambientais e dos parâmetros de temperatura.

Tabela 2: Matriz de Concordância

		FR ^a	TR ^b	TA ^c	TO ^d	TF ^e
FR	R de Pearson	—				
	p-value	—				
TR	R de Pearson	0.323***	—			
	p-value	< 0.001	—			
TA	R de Pearson	0.182	0.187*	—		
	p-value	0.056	0.050	—		
TO	R de Pearson	0.180	0.069	0.837***	—	
	p-value	0.057	0.468	< 0.001	—	
TF	R de Pearson	0.237*	0.065	0.774***	0.773***	—
	p-value	0.012	0.498	< 0.001	< 0.001	—

*p < .05, ** p < .01, *** p < .001

^a Frequência Respiratória

^b Temperatura Retal

^c Temperatura Auricular

^d Temperatura Ocular

^e Temperatura do Focinho

Os resultados de correlação linear de Pearson sugeriram que os sítios anatômicos correspondentes à região auricular e focinho mostram-se mais promissores para o monitoramento do estresse térmico. De acordo com Mota-Rojas et al. (2022b), a região auricular e da narina é amplamente empregada em diversas espécies de ruminantes e não ruminantes para avaliar seu estado térmico. Isso se deve à alta densidade de anastomoses arteriovenosas e capilares sanguíneos nessa área, além da presença de pouco pelo ou pelagem na região auricular e circulação da artéria maxilar que irriga a narina. Essas características permitem que a troca de calor com o ambiente ocorra por meio de alterações no calibre dos vasos sanguíneos (Tattersall, 2016).

Como revisado por Rashamol et al. (2020), os animais apresentam diversas adaptações comportamentais e fisiológicas em condições de estresse térmico, incluindo alterações no tônus vascular periférico e no fluxo sanguíneo devido à vasodilatação periférica (Mota-Rojas et al., 2021). Nesse sentido, as câmeras infravermelhas são capazes de medir a emissão de calor irradiado durante o controle vasomotor, que envolve a dilatação ou constrição dos capilares periféricos (Casas-Alvarado et al., 2020). Essas câmeras permitem a visualização do calor de forma digitalizada, como realizado neste estudo, ou podem gerar vídeos de alta velocidade que representam um mapa de calor da cena, usando cores falsas (Hoffmann et al., 2016).

Portanto, os resultados do presente estudo apoiam a IRT como um indicador da temperatura central do corpo e um método, potencialmente, útil em campo para estimar a condição fisiológica do estresse térmico animal. No entanto, os resultados ressaltam a importância de considerar as limitações práticas e as especificidades de sítios anatômicos ao utilizar a IRT como uma ferramenta de monitoramento do estresse térmico animal. Neste estudo, as fracas correlações documentadas podem estar relacionadas ao lapso de tempo dos animais contidos para aquisição das imagens e ao efeito da relação humano-animal durante as coletas (Mota-Rojas et al., 2020).

Portanto, embora essa tecnologia tenha sido utilizada como um indicador de estresse em vários estudos (Souza-Junior et al., 2019; Machado et al., 2021; Mota-Rojas et al., 2022b) e tenham-se documentado correlações significativas no presente estudo, o processo de aquisição das imagem térmicas pode ser

difícil em condições comerciais por vários motivos, como o movimento frequente da cabeça, tornando a varredura térmica por infravermelho imprecisa (Mota-Rojas et al., 2022a). Uma solução potencial para superar essa limitação é automatizar a aquisição de imagens térmicas. Isso permitirá maior precisão na medição das temperaturas dos alvos, além de reduzir ou mesmo eliminar o efeito da relação entre homem-animal na coleta de dados (Bertoni et al., 2020).

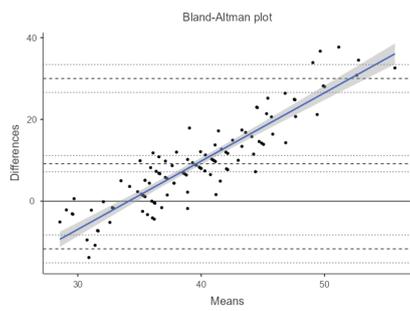
Por meio dos diagramas de Bland-Altman, observou-se uma relativa concordância entre o método IRT, a partir dos sítios anatômicos auricular e ocular, e as medidas de frequência respiratória. No entanto, observou-se um viés proporcional significativo entre a medida da frequência respiratória e a temperatura do focinho determinada pela tecnologia da IR. Isso foi evidenciado pelo coeficiente angular da regressão linear, que apresentou um valor, significativamente, diferente de zero, indicando a presença de polarização entre os métodos avaliados (Figura 3).

A Figura 3 mostra um nível de concordância representativo do método IRT, com as medidas de temperatura retal na quantificação da resposta ao estresse térmico. Os sítios anatômicos correspondentes à região ocular e focinho mostram-se mais promissores, devido à ausência de polarização. Contudo, a abordagem IRT a partir da temperatura ocular apresentou viés mínimo e exibiu limites de concordância mais estreitos em comparação com os outros sítios anatômicos avaliados no estudo. Além disso, a análise de regressão linear não revelou evidências significativas de polarização entre os métodos.

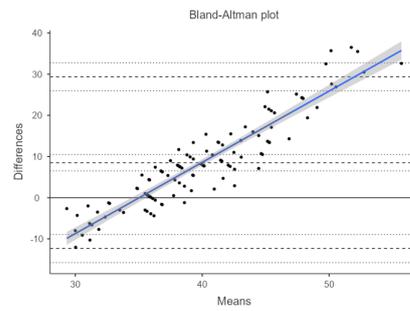
A análise de Bland-Altman confirmou a potencial concordância entre os métodos, demonstrando uma similaridade na quantificação da resposta ao estresse térmico por meio das imagens termográficas em relação às medidas da frequência respiratória e da temperatura retal dos animais. Os diagramas mostraram que os sítios anatômicos correspondentes à região auricular e ocular apresentaram resultados mais promissores para a frequência respiratória, enquanto a região ocular e o focinho mostraram-se mais adequados para a medição da temperatura retal. No entanto, o estudo termográfico realizado não pode fornecer uma análise generalizada para uma ampla gama de condições ambientais (ou seja, regiões climáticas) e fazenda (por exemplo, construções, sistema de arrefecimento, rotina da fazenda, legislação específica do país, etc.). De modo que mais pesquisas são necessárias para otimizar o uso de tecnologias de infravermelho em ambientes comerciais.

4. Conclusão

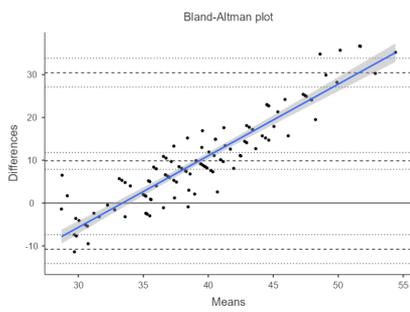
Neste estudo, a temperatura da superfície corporal animal, avaliada pela termografia infravermelha, variou de acordo com a localização anatômica escolhida para essa medida. Com base nos resultados, os sítios anatômicos correspondentes à região auricular e ocular apresentaram resultados mais promissores para a frequência respiratória, enquanto a região ocular e o focinho mostraram-se mais adequados para a medição da temperatura retal. No entanto, embora significativa, a magnitude das correlações entre as temperaturas infravermelhas avaliadas nesses sítios anatômicos com os indicadores fisiológicos de estresse encontradas neste estudo é bastante baixa. Portanto, em-



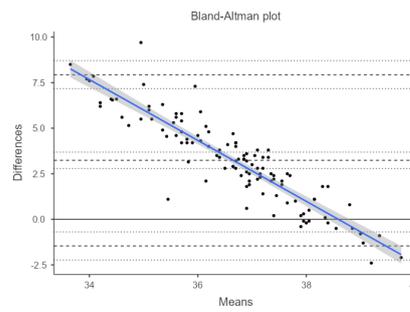
(a) $y = 15.578 + 0.817x$; $p = 0.051$; $r = 0.185$



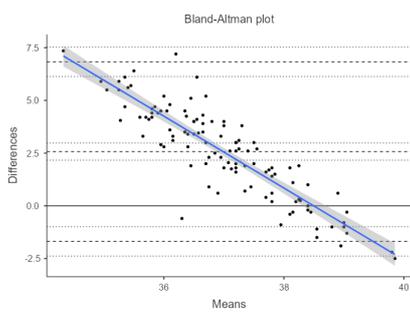
(b) $y = 11.699 + 0.910x$; $p = 0.057$; $r = 0.180$



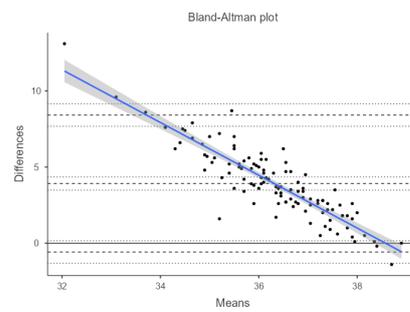
(c) $y = 5.37 + 1.13x$; $p = 0.012$; $r = 0.237$



(d) $y = 36.7037 + 0.0447x$; $p = 0.032$; $r = 0.202$



(e) $y = 37.6457 + 0.0175x$; $p = 0.468$; $r = 0.0693$



(f) $y = 37.7403 + 0.0155x$; $p = 0.498$; $r = 0.0646$

Figura 3: Diagramas de Bland-Altman entre:^a Frequência Respiratória x Temperatura Auricular;^b Frequência Respiratória x Temperatura Ocular; ^c Frequência Respiratória x Temperatura do Focinho; ^d Temperatura Retal x Temperatura Auricular; ^e Temperatura Retal x Temperatura do Focinho

bora a termografia infravermelha possa ser considerada uma ferramenta potencial para o setor, não pode ser recomendada como uma medida autônoma da condição fisiológica de bovinos em resposta ao estresse. Sendo, portanto, necessárias mais pesquisas para refinar a precisão da tecnologia infravermelha e tornar o método mais adaptável ao uso em ambientes comerciais.

Agradecimentos

À Universidade Federal do Maranhão (UFMA) por proporcionar apoio, infraestrutura e ambiente acadêmico propício para a realização de cada etapa deste estudo.

Referências

- Aparecido, L.E.d.O., de Meneses, K.C., Lorençone, P.A., Lorençone, J.A., Moraes, J.R.d.S.C.d., de Souza Rolim, G., 2023. Climate classification by thornthwaite (1948) humidity index in future scenarios for maranhão state, brazil. *Environment, Development and Sustainability* 25, 855–878.
- Berman, A., Horovitz, T., Kaim, M., Gacitua, H., 2016. 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* 60, 1453–1462.
- Bertoni, A., Mota-Rojas, D., Álvarez-Macias, A., Mora-Medina, P., Guerrero-Legarreta, I., Morales-Canela, A., Gómez-Prado, J., José-Pérez, N., Martínez-Burnes, J., 2020. Scientific findings related to changes in vascular microcirculation using infrared thermography in the river buffalo. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology* 8, 288–297.
- Casas-Alvarado, A., Mota-Rojas, D., Hernández-Ávalos, I., Mora-Medina, P., Olmos-Hernández, A., Verduzco-Mendoza, A., Reyes-Sotelo, B., Martínez-Burnes, J., 2020. Advances in infrared thermography: Surgical aspects, vascular changes, and pain monitoring in veterinary medicine. *Journal of Thermal Biology* 92, 102664.
- Chacur, M.G.M., Souza, C.D., Andrade, I.B., Bastos, G.P., Deak, F.L.G., Souza, M.G.R., Cornacini, G.F., Marques Júnior, A.d.P., 2016. Aplicações da termografia por infravermelho na reprodução animal e bem-estar em animais domésticos e silvestres. *Revista Brasileira de Reprodução Animal* 40, 88–94.
- Daltro, D.d.S., Fischer, V., Alfonso, E.P.M., Dalcin, V.C., Stumpf, M.T., Kolling, G.J., Silva, M.V.G.B.d., McManus, C., 2017. Infrared thermography as a method for evaluating the heat tolerance in dairy cows. *Revista Brasileira de Zootecnia* 46, 374–383.
- FAO, I., UNICEF, et al., 2021. O estado da segurança alimentar e nutricional no mundo 2021. Transformando os sistemas alimentares para a segurança alimentar, nutrição melhorada e dietas saudáveis acessíveis para todos. Roma: FAO.
- Habeeb, A.A., Gad, A.E., Atta, M.A., 2018. Temperature-humidity indices as indicators to heat stress of climatic conditions with relation to production and reproduction of farm animals. *Int. J. Biotechnol. Recent Adv* 1, 35–50.
- Hoffmann, G., Schmidt, M., Ammon, C., 2016. First investigations to refine video-based ir thermography as a non-invasive tool to monitor the body temperature of calves. *animal* 10, 1542–1546.
- Lallo, C.H., Cohen, J., Rankine, D., Taylor, M., Cambell, J., Stephenson, T., 2018. Characterizing heat stress on livestock using the temperature humidity index (thi)—prospects for a warmer caribbean. *Regional Environmental Change* 18, 2329–2340.
- Leão, J.M., Lima, J.A.M., Póssas, F.P., Pereira, L.G.R., 2015. Uso da termografia infravermelha na pecuária de precisão. *Cadernos Técnicos de Veterinária e Zootecnia*, 97–109.
- Machado, N.A., Da Costa, L.B., Barbosa-Filho, J.A., De Oliveira, K.P., De Sampaio, L.C., Peixoto, M.S., Damasceno, F.A., 2021. Using infrared thermography to detect subclinical mastitis in dairy cows in compost barn systems. *Journal of Thermal Biology* 97, 102881.
- Mbuthia, J.M., Eggert, A., Reinsch, N., 2022. Cooling temperature humidity index-days as a heat load indicator for milk production traits. *Front. Anim. Sci.*
- Melo, B.A.d., Silva, S.G.d.M., dos Santos, M.T., Silva, P.C.V.d., Fraga, A.B., 2022. Infrared thermography on animal livestock. *Conjecturas* 22, 119–146.
- Mota-Rojas, D., Marcet-Rius, M., Ogi, A., Hernández-Ávalos, I., Mariti, C., Martínez-Burnes, J., Mora-Medina, P., Casas, A., Domínguez, A., Reyes, B., et al., 2021. Current advances in assessment of dog’s emotions, facial expressions, and their use for clinical recognition of pain. *Animals* 11, 3334.
- Mota-Rojas, D., Maurice Broom, D., Orihuela, A., Velarde, A., Napolitano, F., Alonso-Spilsbury, M., 2020. Effects of human-animal relationship on animal productivity and welfare. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology*.
- Mota-Rojas, D., Pereira, A.M., Martínez-Burnes, J., Domínguez-Oliva, A., Mora-Medina, P., Casas-Alvarado, A., Rios-Sandoval, J., de Mira Geraldo, A., Wang, D., 2022a. Thermal imaging to assess the health status in wildlife animals under human care: Limitations and perspectives. *Animals* 12, 3558.
- Mota-Rojas, D., Wang, D., Titto, C.G., Martínez-Burnes, J., Villanueva-García, D., Lezama, K., Domínguez, A., Hernández-Avalos, I., Mora-Medina, P., Verduzco, A., et al., 2022b. Neonatal infrared thermography images in the hypothermic ruminant model: Anatomical-morphological-physiological aspects and mechanisms for thermoregulation. *Frontiers in Veterinary Science* 9, 963205.
- Polsky, L., von Keyserlingk, M.A., 2017. Invited review: Effects of heat stress on dairy cattle welfare. *Journal of dairy science* 100, 8645–8657.
- Rashamol, V.P., Sejian, V., Bagath, M., Krishnan, G., Archana, P.R., Bhatta, R., 2020. Physiological adaptability of livestock to heat stress: an updated review. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology* 6, 62–71.
- Rosanova, C., Rebouças, G.F., da Silva, M.d.M.P., Rezende, D.M.L.C., da Rocha, A.S., pereira Junior, A., Ismar, M.G., Ferreira, C.C.B., da Silva, E.W., 2020. Determinação do itu-índice de temperatura e umidade da região de araguaína-to para avaliação do conforto térmico de bovinos leiteiros. *Brazilian Journal of Development* 6, 69254–69258.
- Soerensen, D.D., Clausen, S., Mercer, J.B., Pedersen, L.J., 2014. Determining the emissivity of pig skin for accurate infrared thermography. *Computers and Electronics in Agriculture* 109, 52–58.
- Souza-Junior, J.B.F., El-Sabrou, K., de Arruda, A.M.V., de Macedo Costa, L.L., 2019. Estimating sensible heat loss in laying hens through thermal imaging. *Computers and Electronics in Agriculture* 166, 105038.
- Tattersall, G.J., 2016. Infrared thermography: A non-invasive window into thermal physiology. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology* 202, 78–98.
- West, J.W., 2003. Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *Journal of dairy science* 86, 2131–2144.
- Wheelock, J., Rhoads, R., VanBaale, M., Sanders, S., Baumgard, L., 2010. Effects of heat stress on energetic metabolism in lactating holstein cows. *Journal of dairy science* 93, 644–655.