



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

DANIEL LOBO DE SOUSA

APLICAÇÃO DA TERMOGRAFIA POR INFRAVERMELHO NA AVALIAÇÃO
DO ESTRESSE TÉRMICO EM BOVINOS LEITEIROS

CHAPADINHA – MA

2024

DANIEL LOBO DE SOUSA

**APLICAÇÃO DA TERMOGRAFIA POR INFRAVERMELHO NA AVALIAÇÃO
DO ESTRESSE TÉRMICO EM BOVINOS LEITEIROS**

Monografia apresentada à coordenação do curso de Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Maranhão, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof. Dr. Jordânio Inácio Marques

CHAPADINHA – MA

2024

Sousa, Daniel Lobo de. Aplicação da Termografia Por Infravermelho Na Avaliação do Estresse Térmico Em Bovinos Leiteiros / Daniel Lobo de Sousa. - 2024.

41 f.

Orientador(a): Jordânio Inácio Marques. Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha - MA, 2024.

1. Ambiência Animal. 2. Conforto Térmico. 3. Imagem Térmica. 4. Pecuária de Precisão. 5.. I. Inácio Marques, Jordânio.

DANIEL LOBO DE SOUSA

**APLICAÇÃO DA TERMOGRAFIA POR INFRAVERMELHO NA AVALIAÇÃO
DO ESTRESSE TÉRMICO EM BOVINOS LEITEIROS**

Monografia apresentada à coordenação do curso de Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Maranhão, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof. Dr. Jordânio Inácio Marques

Aprovada em: ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Jordânio Inácio Marques (orientador)

Dr. Francisco Naysson de Sousa Santos (avaliador)

Prof. Dr. Nítalo André Farias Machado (avaliador)

CHAPADINHA - MA

2024

GRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus por todas as oportunidades alcançadas durante a graduação e pelos desafios vencidos ao longo do caminho. Sua presença constante foi fundamental para minha jornada.

Especialmente obrigado à minha família por todo o apoio e segurança nos momentos mais turbulentos. À minha mãe, Maria Francisca Palhares Lobo, ao meu pai, João Batista da Conceição de Sousa, minha sobrinha Thais Lauane e ao meu irmão, João Paulo Lobo de Sousa, que infelizmente não se encontra mais entre nós. Vocês são minha base e meu alicerce.

Meu sincero agradecimento ao meu orientador, Prof. Dr. Jordânio Marques, pelas oportunidades e orientações ao longo dessa trajetória. agradeço também aos demais professores: Prof. Drs. Patricio Gomes, Gregori da Encarnação, Edmilson Igor, Washington da Silva, Nítalo Farias, Marcus Willame e todos os outros professores da instituição. Seu esforço e dedicação em compartilhar conhecimento foram essenciais para minha formação. Agradeço também aos grupos de pesquisa INOVAR, GETAD e Field Crops.

Gostaria de expressar meus mais sinceros agradecimentos a uma grande parceira de laboratório e muitas vezes orientadora deste trabalho. Muito obrigado, Évelyn Aguiar, pelos momentos de descontração, pelos conselhos valiosos e pela paciência.

Aos meus amigos da universidade, agradeço pela companhia nos momentos de alegria, descontração e dificuldade. Vocês sempre me ofereceram um ombro amigo. Obrigado, Andreza, Wanderley, Islana, Marlon, Pedro, Lucas, André, Katarina, Larisa, Tom, Esmeraldo, Gabriele, Gleice, Gabriel, Andressa, Mateus, João Mateus, Maria, Joabes, Ivison e todos os demais que não estão mencionados aqui.

Um agradecimento especial ao amigo Aldymar Saraiva que já não se encontra entre nós. E ao amigo Miguel Aves, que fez minha inscrição neste curso de Engenharia Agrícola. Sem você, esta jornada não teria sido possível.

“Não fui eu que ordenei a você? Seja forte e corajoso! Não se apavore nem desanime, pois o Senhor, o seu Deus, estará com você por onde você andar”

Josué 1:9

RESUMO

A Termografia Infravermelha (TI) é uma tecnologia não invasiva que permite mensurar a radiação infravermelha de alvos, possibilitando obter a temperatura superficial de animais in loco. Assim este estudo objetivou-se avaliar o uso da (TI) para estimar o conforto térmico em bovinos leiteiros. Foram utilizadas quatro fêmeas bovinas adultas, mestiças de Holandês-Gir. Em quatros horários distintos do dia foi coletado dados da região facial de Temperatura Auricular (TA), Temperatura Ocular (TO) e Temperatura do Focinho (TF), dados corporais de Temperatura Superficial Corporal Mínima (TSC MÍN) Temperatura Superficial Corporal Média (TSC MÉD) e Temperatura Superficial Corporal Máxima (TSC MÁX), dados do ambiente, Umidade relativa (UR), Temperatura do Ambiente (TA) e Índice Temperatura e Umidade (ITU) em paralelo com variáveis de Temperatura Retal (TR) e Frequência Respiratória (FR), os dados foram submetidos à análise estatística descritiva, e correlacionados através da correção de Pearson e Analise de Componentes Principais (ACP). A TO apresentou a maior média das temperaturas faciais, seguida da TA e TF, as temperaturas faciais demonstraram uma correlação mais significativa com variáveis ambientais, enquanto as temperaturas corporais apresentaram uma maior correlação com (TR) e a (FR). A temperatura da superfície corporal dos animais, avaliada por TI, variou conforme a localização da região corporal selecionada para a medição. A TI mostrou-se uma técnica não invasiva eficiente para prognóstico de conforto/estresse térmico em bovinos de leite.

Palavras-chave: Ambiência animal, Conforto térmico, Imagem térmica, Pecuária de precisão.

ABSTRACT

Infrared Thermography (IT) is a non-invasive technology that allows for the measurement of infrared radiation from targets, enabling the acquisition of the surface temperature of animals in situ. Thus, this study aimed to evaluate the use of IT to estimate thermal comfort in dairy cattle. Four adult female bovines, crossbreeds of Holstein and Gir, were used. Data were collected at four different times of the day from the facial region, including Auricular Temperature (AT), Ocular Temperature (OT), and Snout Temperature (ST), as well as body data, including Minimum Surface Body Temperature (Min SBT), Average Surface Body Temperature (Avg SBT), and Maximum Surface Body Temperature (Max SBT). Environmental data, including Relative Humidity (RH), Ambient Temperature (AT), and Temperature-Humidity Index (THI), were collected in parallel with Rectal Temperature (RT) and Respiratory Rate (RR) variables. The data were subjected to descriptive statistical analysis and correlated using Pearson's correlation and Principal Component Analysis (PCA).. The TO showed the highest average among facial temperatures, followed by TA and TF. Facial temperatures demonstrated a more significant correlation with environmental variables, while body temperatures showed a higher correlation with TR and RR. The surface temperature of the animals' bodies, assessed by IT, varied depending on the location of the selected body region for measurement. IT proved to be an efficient non-invasive technique for predicting thermal comfort/stress in dairy cattle.

Keywords: Animal ambiance, Thermal comfort, thermal imaging, precision livestock.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Área experimental da unidade de nutrição de bovinos leiteiros	18
Figura 2. Etapas da montagem dos sensores. Projeto estrutural (2A), sensores funcionando (2B) e projeto do circuito (2C).....	20
Figura 3. Coleta de temperatura retal em bovino leiteiro com auxílio de um termômetro .	21
Figura 4. Etapas para coletas de temperatura superficial dos animais. Coleta de temperatura corporal (4A), Imagem térmica corporal (4B), Coleta de temperatura facial (4C), Temperatura térmica facial (4D)	22
Figura 5. Fluxograma estatístico	23
Figura 6. Exemplo de representação dos dados em componentes principais.....	24
Figura 7. Índice de temperatura e umidade horária	25
Figura 8. (A) Temperatura média durante os meses de julho no leste do estado do Maranhão entre os anos de 2017 a 2022, (B) A temperatura média para os meses de julho entre 2017 a 2022	26
Figura 9. Nível de significância de 5% e correlação de Pearson ao nível de significância de 5%.....	29
Figura 10. Representação dos grupos e vetores de amostras horário nas componentes principais	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Dados de correlação de Pearson de umidade relativa e temperatura ambiente do NASA POWER com sensores terrestres local	25
Tabela 2. Teste de normalidade Anderson-Darling e estatística descritiva.....	27
Tabela 3. Autovalores das componentes	30

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1. Índice de Temperatura e Umidade	20
---	----

LISTA DE SIGLAS

CP	Componente Principal
FR	Frequência Respiratória
ITU	Índice de Temperatura e Umidade
TA	Temperatura Auricular
TA. DHT22	Temperatura Ambiente do DHT22
TA. NP	Temperatura Ambiente do <i>Nassa Power</i>
TAMB	Temperatura do Ambiente
TF	Temperatura do Focinho
TO	Temperatura Ocular
TR	Temperatura Retal
TSC MÁX	Temperatura Superficial Corporal Máxima
TSC MÉD	Temperatura Superficial Corporal Média
TSC MÍN	Temperatura Superficial Corporal Mínima
UR. DHT22	Umidade Relativa do DHT22
UR. NP	Umidade Relativa do <i>Nassa Power</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVO	13
2.1 OBJETIVO GERAL	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
3. REVISÃO DE LITERATURA	14
3.1 CONFORTO TÉRMICO DE BOVINOS LEITEIROSNO BRASIL	14
3.2 APLICAÇÃO DA TERMOGRAFIA NA AGROPECUÁRIA.....	14
3.3 RESPOSTAS FISIOLÓGICAS AO ESTRESSE TÉRMICO EM BOVINOS DE LEITE.....	15
3.4 ANÁLISE MULTIVARIADA APLICADA NA AGROPECUÁRIA	16
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	18
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	18
4.2 COMITÊ DE ÉTICA.....	18
4.3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	19
4.3.1 Montagem da estação e coleta de dados climáticos	19
4.3.2 Respostas fisiológicas	21
4.3.3 Coleta e processamento de imagens termográficas.....	22
4.3.4 Análise estatística.....	23
4.3.4.1 Correlação de Pearson	23
4.3.4.2 Análise de componentes principais	24
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	24
5.1 VARIÁVEIS AMBIENTAIS	24
5.2 ESTATÍSTICA DESCRITIVA E CORRELAÇÃO DE PEARSON.....	27
5.3 ANALISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS	30
6. CONCLUSÕES	34
7. REFERÊNCIAS	35

1. INTRODUÇÃO

A produção de leite no Brasil está entre as três maiores do mundo, atingindo uma produção anual que ultrapassa os 34 bilhões de litros, distribuídos em 98% dos municípios do país (Brasil, 2023), sendo maior valor em reais gerado em estados na região sul do país (IBGE, 2023). Em 2022, o número de vacas destinadas à produção de leite foi de 16,9 milhões de cabeças. Para o ano de 2023, prevê-se um aumento de cerca de 1% do rebanho, totalizando 17 milhões de cabeças (Brasil, 2023). Em 2022, a região nordeste do país contribuiu significativamente para a produção nacional de leite, gerando 5.131 litros por dia (Embrapa, 2023).

Essa produção deve-se em parte à prática da pecuária de precisão, e manejo do conforto térmico animal, que veem utilizando técnicas para a coleta de dados bioclimáticos, fisiológicos e comportamentais, que servem de informações para tomada de decisão eficiente. A precisão dos métodos de monitoramento na produção animal e suas adequadas utilizações como ferramentas que auxiliem na tomada de decisão depende, dentre outros fatores, da utilização de técnicas eficazes de identificação de animais doentes, feridos ou estressados (Giro et al., 2019).

A atividade pecuária de leite é realizada em áreas de pastagem ou com grandes quantidades de animais confinados em galpões, inviabilizando a aferição rotineira da temperatura corporal individual (Sellier et al., 2014). No entanto, é importante ter conhecimento preciso e monitoramento constante dos parâmetros fisiológicos para identificar as mínimas alterações, as quais podem impactar diretamente na saúde fisiológica e no bem-estar dos animais (Turco et al., 2019).

As técnicas convencionais de avaliação das condições térmicas dos animais, como, por exemplo, a termometria retal, apesar de gerar informações relevantes, são trabalhosas e podem influenciar o comportamento dos animais, o que por sua vez afeta as respostas termorregulatórias (Marques et al., 2021). Assim, para o monitoramento eficaz, a termografia infravermelha (TI) pode ser empregada em rebanhos bovinos especializados em produção leiteira como uma técnica de imagem para ser realizada com frequência, em intervalos curtos e com o menor tempo de manejo possível (Chacur et al., 2016).

O princípio de ação da TI é detectar o calor irradiado em regiões anatômicas próximos à superfície que podem regular o ganho ou perda de temperatura do animal para o ambiente (Mota-rojas et al., 2021). Assim, comparando os métodos de temperatura retal e termografia por infravermelho, os dois se diferenciam pela técnica, sendo a temperatura retal baseada na transferência de calor condutivo para o sensor, enquanto o equipamento termográfico mede a radiação (Marques et al., 2021). Além disso, a termografia permite mensurar a temperatura na superfície do corpo, que está constantemente envolvida nas trocas de calor com o meio ambiente, enquanto a temperatura da cavidade retal depende da situação térmica do núcleo do corpo (George et al., 2014).

O objetivo com este estudo foi aplicar a termografia por infravermelho como ferramenta não invasiva para avaliar a condição de conforto/desconforto térmico de bovinos leiteiros submetidos às condições ambientais do Leste Maranhense.

2. OBJETIVO

2.1 Objetivo Geral

Aplicar a termografia por infravermelho como ferramenta não invasiva para avaliar a condição de conforto/desconforto térmico de bovinos leiteiros, submetidos às condições ambientais do Leste Maranhense.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar indicadores de conforto/desconforto térmico a partir das respostas fisiológicas: temperatura retal, temperatura superficial e frequência respiratória de bovinos de leite submetidos a condições ambientais do Leste maranhense;
- Analisar o uso da termografia por infravermelho como ferramenta para estimar a condição de conforto/estresse térmico de bovinos de leite;
- Utilizar sensores de baixo custo para coletar dados ambientais;
- Gerar mapas de temperatura da superfície da região Leste Maranhense;
- Analisar o grau de correlação entre as temperaturas superficiais de diferente parte anatômicas dos animais e os indicadores de conforto/desconforto térmico (temperatura retal, frequência respiratória e índice de temperatura e umidade).

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Conforto térmico de bovinos leiteiros no Brasil

O conforto térmico é um fator importante para a produtividade do bovino leiteiro. Países de clima tropical, como o Brasil, apresentam alta incidência de radiação solar, com predominância de temperaturas mais elevadas, o que consequentemente proporciona mais condições de estresse (Zanetti et al., 2019). Na região nordeste, os desafios para a produção são ainda mais acentuados devido ao clima quente e seco. Nessa região observa-se predominância do bovino Girolando (Embrapa, 2023), conhecido por sua maior resistência ao calor comparado à raça holandesa, no entanto, mesmo essa raça resistente pode sofrer com o estresse térmico se as condições não forem gerenciadas adequadamente.

Os animais possuem uma zona de conforto térmico onde a temperatura de seu corpo se mantém constante. No entanto o calor excessivo pode causar estresse térmico no bovino, levando a uma diminuição na produção de leite e na eficiência reprodutiva. Segundo Porcionatto et al. (2009), isso ocorre principalmente pela redução na ingestão de alimentos e acionamento do sistema termorregulatório. Essa barreira na produtividade pode ser superada aplicando-se novas tecnologias na produção, assim, pecuaristas que investem em melhoramento genético e ambiência têm animais com qualidade superior, mesmo em períodos desafiadores (Embrapa, 2023).

3.2 Aplicação da termografia em bovinos e caprinos

A termografia é uma tecnologia inovadora que tem sido cada vez mais utilizada na agropecuária para melhorar o bem-estar animal, a termografia a infravermelha (TI) é uma técnica não invasiva, que permite avaliar o estado térmico de um corpo biológico, detectando variações na radiação de ondas longas (infravermelho) emitida por regiões anatômicas específicas dos animais (Mota-rojas et al., 2021). Essa técnica pode ser utilizada para diversas finalidades. Mota-Rojas et al. (2021), ao analisarem janelas térmicas para avaliação do conforto térmico e bem-estar em bovinos, observaram que há diferenças anatômicas e fisiológicas entre os grandes ruminantes e o impacto do ambiente. Além disso, observaram

que gênero e espécie são elementos que podem influenciar a interpretação e validação de áreas do corpo dos animais que são particularmente sensíveis às variações de temperatura.

No monitoramento de bovinos leiteiros, a temperatura da superfície é capturada por uma por imagem térmica, que expressa um gradiente de cores e tem sido utilizada para monitorar a saúde da glândula mamária. Uma elevação na temperatura da superfície do úbere pode indicar mastite, uma condição dolorosa que pode afetar a produção de leite (Fonseca et al., 2021). No estudo de Colak et al. (2008) utilizando vacas sendo 49 Brown Swiss e 45 Holandesas, para detectar mastite com termografia por infravermelho, os autores apontaram que a técnica é sensível o suficiente para perceber alterações na temperatura da superfície da pele em resposta a vários graus de gravidade da infecção da glândula mamária.

Nesse contexto, Marques et al. (2021) mesuraram janelas térmicas de regiões facial corporal em seis caprinos machos (mestiços $\frac{3}{4}$ raça Boer e $\frac{1}{4}$) sem padrão racial definido, para estimar a Temperatura Retal (TR), e destacaram que é possível estimar com precisão a TR sendo as regiões mais indicadas a do globo ocular, da cabeça, da paleta e posterior dos animais.

3.3 Respostas fisiológicas ao estresse térmico em bovinos de leite

O estresse térmico é quantificado por meio da observação das deficiências nas tentativas de regulação e manutenção da homeostase corporal, nas quais os organismos não conseguem sustentar essas modificações em níveis considerados toleráveis (Linhares et al., 2015). Como consequência disso, há uma variação nas respostas fisiológicas, que são conjuntos de reações sistêmicas quando ocorre estresse. Nesse contexto o diagnóstico clínico pode ser embasado nas seguintes variáveis: Frequência Respiratória (FR), Frequência Cardíaca (FC), temperatura retal (TR) e Temperatura da Superfície (TS) (Ferreira et al., 2019).

A FR é importante para detectar o estado de conforto térmico, pois assume uma posição central como mecanismo de controle na manutenção da homeotermia animal diante de condições ambientais adversas (Dalcin et al., 2016). Portanto, a modificação na FR representa um dos primeiros indicadores visíveis de que os animais estão enfrentando situações de estresse, sendo sensível à intensidade e duração desse estresse (Azevêdo &

Alves, 2009). A correlação da FR com a exposição ao estresse térmico revelou que o intervalo de 40 a 60 movimentos por minuto indica um baixo nível de estresse térmico, valores entre 60 e 80, e 80 a 120 movimentos por minuto foram associados, respectivamente, a níveis de risco médio e alto em bovino de leite (Marins *et al.*, 2020).

Outra medida fisiológica importante para determinar a resposta do animal ao ambiente estressante é a temperatura retal, a qual foi considerada por Hansen (2019) como a melhor forma para avaliar o bem-estar térmico. Em relação a Frequência Cardíaca, Marins *et al.* (2020) a utilizaram para avaliar o estresse térmico em vacas leiteiras e observaram que o seu aumento representa uma reação à redução da pressão sanguínea, resultante do aumento da vasodilatação periférica para facilitar a dissipação de calor. Da mesma forma que as variáveis fisiológicas vistas anteriormente são sensíveis às variações do ambiente, Nascimento *et al.* (2019) afirmaram que a superfície do bovino de leite é bastante sensível à temperatura ambiente, isso ocorre devido à pele desempenhar um papel fundamental na regulação do conforto térmico. Esse órgão desempenha uma função crucial ao mitigar a absorção excessiva de radiação solar, contribuindo significativamente para a dissipação eficiente do calor proveniente da superfície do animal (Atkins *et al.*, 2018).

3.4 Análise multivariada aplicada na agropecuária

Os métodos estatísticos de multivariada possibilita a análise simultânea de diversas variáveis, facilitando a identificação do fenômeno que está sendo estudado, mostrando as semelhanças ou diferenças entre elas (Castanheira 2009, Macciotta *et al.*, 2012). Dentre os métodos de análise multivariável, destaca-se a ACP é uma técnica estatística que, em um conjunto de variáveis, os componentes principais são combinações lineares dessas variáveis, construídos de forma a explicar a maior parte da variância presente nas variáveis originais (Hoffmann, 1992; Silva, 2019).

A estatística multivariada engloba um conjunto de métodos estatísticos empregados em situações nas quais várias variáveis são medidas simultaneamente em cada unidade experimental, ou seja, é o ramo da estatística que tem por objetivo representar, analisar e interpretar dados amostrais de populações onde diversas variáveis respostas, contínuas ou não, são avaliadas para cada unidade experimental (Cruz & regazzi, 1994).

Manly (1994) afirma que a estatística multivariada possui grande vantagem em relação a técnicas univariadas. Enquanto na univariada há interesse apenas na análise da variação em uma variável, nas multivariadas são consideradas simultaneamente, atribuindo igual importância a cada uma delas na análise. Assim, qualquer pesquisador que se limita a analisar apenas relações entre duas variáveis e evitar o uso de multivariada está deixando de lado poderosas técnicas que podem lhe oferecer informações bem precisas (Hair junior. et al., 2006).

A estatística multivariada pode ser utilizada em várias áreas para pesquisas científicas, um exemplo é na agronomia, pode se prever o genótipo dos frutos, peso médio do fruto ou o teor de açúcar do mesmo; na zootecnia pode avaliar características de bovinos, como a qualidade da carne através da perda de peso; na engenharia agrícola pode investigar produção e bem-estar animal (Sartorio, 2008, Russel et al., 2023). No estudo conduzido por Russell et al. (2023), empregou-se a técnica de análise de componentes principais para investigar diferentes formas de enriquecimento ambiental sobre os estados afetivos de vacas leiteiras alojadas. A escolha da análise mais adequada é atribuição da precisão almejada, facilidade da análise e da forma como os dados foram obtidos (Ferreira et al., 2003).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área de estudo

O experimento foi realizado na Universidade Federal do Maranhão (UFMA), Campus de Chapadinha (CCCh), situado a $03^{\circ}44'33''$ S de latitude e $43^{\circ}21'21''$ W de longitude, na mesorregião Leste Maranhense, com altitude média de 110 m acima do nível do mar (Figura 1). O clima da região é tropical quente e úmido com temperatura mínima anual de 21°C e máxima de 37°C , e segundo a classificação de *Köppen* é do tipo savana, Aw (Alvares et al., 2013; Corrêa & Mendes., 2023), com dois períodos bem definidos, um chuvoso de janeiro a junho, com médias pluviométricas mensais superiores a 217,4 mm, e outro seco, correspondente aos meses de julho a dezembro. Dentro do período de estiagem a precipitação pluviométrica mensal varia de 6,7 a 62,2 mm, com precipitação total anual média em torno de 1.468,7 mm (Correia filho et al., 2011).



Figura 1. Área experimental da unidade de nutrição de bovinos leiteiros

4.2 Comitê de ética

Todos os procedimentos experimentais foram conduzidos em conformidade com as diretrizes estabelecidas pelo Comitê de Ética no Uso de Animais da Universidade Federal do Maranhão, tendo sido previamente aprovados por este comitê sob o processo nº 23115.023367/2023-12.

4.3 Procedimento experimental

Este estudo foi realizado em vacas adultas, mestiças de Holandês-Gir, com sete anos de idade e peso corporal de 500 ± 10 kg. O experimento foi conduzido utilizando quatro animais que não estavam em período de lactação, em sistema semi-intensivo. As vacas foram alimentadas a pasto com complemento de concentrado, composto por 2 kg de milho, 1,5 kg de soja e 150 g de sal por animal, fornecido duas vezes ao dia, às 8 e 16 h (horário local), em ambiente protegido com ventilação natural. Mesmo durante o horário de pastagem, os animais tinham acesso ao estabulo com água disponível 24 horas.

O treinamento dos animais foi conduzido com base nos princípios da habituação e condicionamento, visando a minimização do tempo necessário para o condicionamento das vacas e para atenuar suas respostas de medo diante da presença humana.

4.3.1 Montagem da estação e coleta de dados microclimáticos

O equipamento de coleta de dados micrometeorológico foi construído conforme mostrado na Figura 2, utilizando sensores DHT22 (AM2302) instalados em um abrigo representado na Figura 2A, com o objetivo de proteção contra a radiação direta e chuva, conforme descrito por Valin Jr. et al. (2016). O conjunto contou com um relógio de tempo real (RTC) e um gravador de cartões SD (*Secure Digital*), sendo controlados por uma placa ESP32, conforme indicado na Figura 2C. O sistema foi programado para realizar leituras a cada dez minutos e calcular a média de temperatura e umidade relativa a cada hora, como apresentado na Figura 2B.

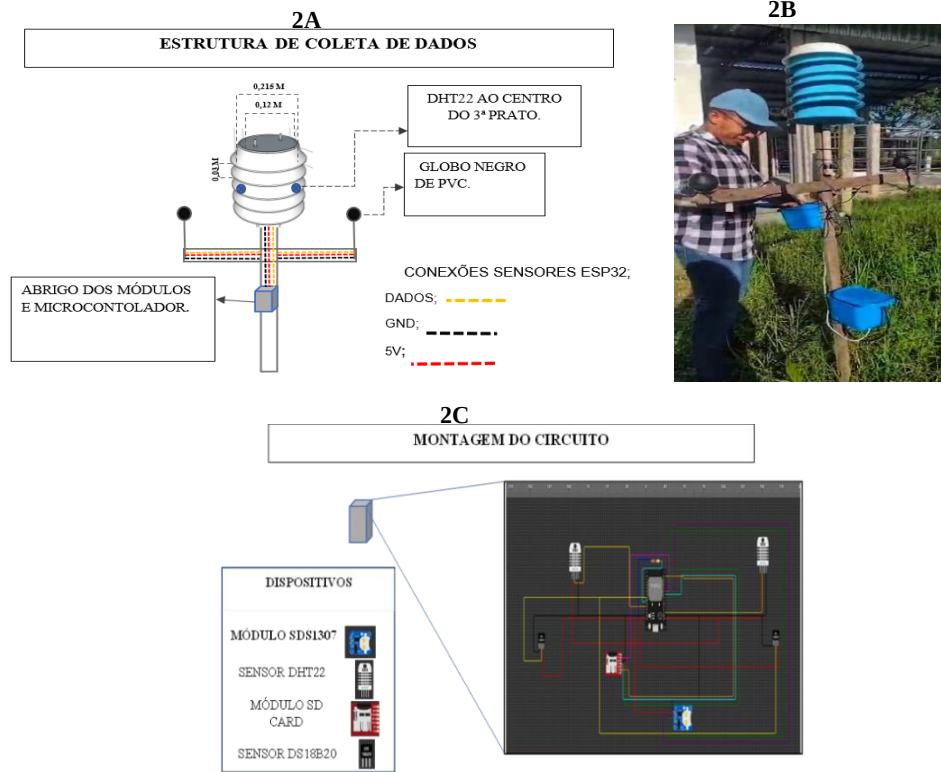


Figura 2. Etapas da montagem dos sensores. Projeto estrutural (2A), sensores funcionando (2B) e projeto do circuito (2C)

Para preencher lacunas de dados dos sensores locais, utilizou-se informações meteorológicas da reanálise da *NASA POWER(NP)* com resolução espacial de 4 km.

A partir desses dados do dht22 e NP, gerou-se uma média horária e procedeu-se com análise de correlação entre as duas fontes de dados. Além disso, as médias de TA e UR foram utilizadas para calcular o Índice de Temperatura e Umidade (ITU) (Thom, 1959), por meio da Equação 1

$$ITU = (0.8 \times TA + \left(\frac{UR\%}{100}\right) \times (TA \times 14.4) + 46.4) \quad (1)$$

Onde:

ITU – Índice de temperatura e umidade;

TAMB – Temperatura do Ambiente (°C);

UR – Umidade relativa do ar (%).

O mapa da média de temperatura da superfície do Leste Maranhense foi gerado a partir de uma série histórica composta por imagens coletadas entre os anos de 2017 e 2022 e nos meses de Junho e julho, foi adquirido utilizando-se o banco de dados MOD11A1 61 através da plataforma *Google Earth Engine*. Esse banco de dados fornece uma série temporal de valores diários da temperatura da superfície com uma resolução espacial de 1 km.

4.3.2 Respostas fisiológicas

As variáveis registradas foram, Temperatura Superficial Corporal Máxima (TSC MÁX), Temperatura Superficial Corporal Média (TSC MÉD), Temperatura Superficial Corporal Mínima (TSC MÍN), Temperatura Retal (TR), Frequência Respiratória (FR), Temperatura Ocular (TO), Temperatura do Focinho (TF) e Temperatura Auricular (TA) avaliadas durante os meses de junho e julho a cada sete dias, nos seguintes horários: 07:00, 11:00, 14:00 e 17:00 horas em todas as coletas, horário local (GMT-03h), gerando um total de 112 amostras individuais de cada variável física e dados climáticos.

A FR medida em movimentos por minuto (mov/min) foi obtida a partir da contagem dos movimentos respiratórios durante 1 minuto, através da observação direta dos movimentos do flanco. A TR, medida em graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$), foi mensurada utilizando um termômetro clínico veterinário digital (Incoterm[®], Termomed, Rio Grande do Sul, Brasil, faixa de temperatura 32,0~43,0 $^{\circ}\text{C}$ e precisão de $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$), inserido a cerca de 2,0 cm no reto dos animais, até a estabilização da leitura (Figura 3).



Figura 3. Coleta de temperatura retal em bovino leiteiro com auxílio de um termômetro

4.3.3 Coleta e processamento de imagens termográficas

As temperaturas da superfície corporal dos animais foram obtidas por termografia infravermelha, a partir de uma câmera termográfica portátil (Fluke®, TiS10, Everett, WA, EUA) com resolução de 80x60 (4.800 pixels). O equipamento continha uma lente de 35,7° x 26,8°, sensibilidade térmica $\leq 0,15$ °C à temperatura-alvo de 30 °C (150 MK) e faixa de medição de temperatura de -20 a 250 °C. A emissividade adotada foi de 0,98 (Hoffmann *et al.*, 2013).

A Temperatura Superficial Corporal (TSC) foi coletada a uma distância de aproximadamente 1 m das vacas, de um dos lados de cada animal (Figura 4A), com o objetivo de obter as temperaturas máxima, média e mínima corporais (Figura 4C). Da mesma forma, foram coletadas as temperaturas faciais (Figura 4B), visando a obtenção de dados da Temperatura Auricular (TA), Temperatura do Focinho (TF) e Temperatura ocular (Figura 4D). Isso foi realizado para determinar qual região do corpo dos animais melhor respondia às variações térmicas com base na TR, FR e ITU. Nesse cenário as imagens foram processadas no *software Smartview*®.

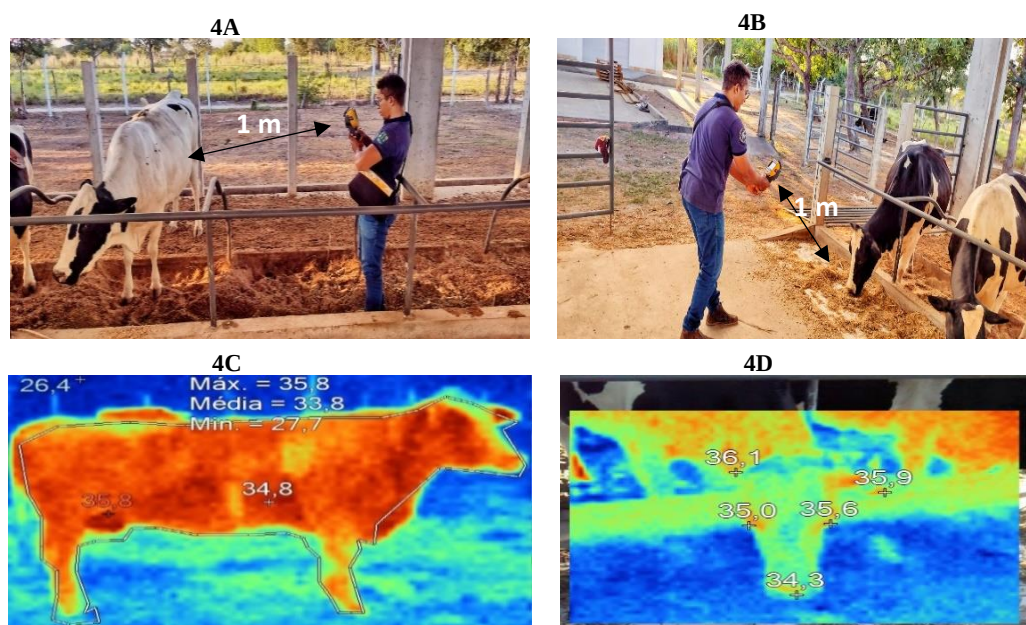


Figura 4. Etapas para coletas de temperatura superficial dos animais. Coleta de temperatura corporal (4A), Imagem térmica corporal (4B), Coleta de temperatura facial (4C), Temperatura térmica facial (4D)

4.3.4 Análise estatística

Os dados foram submetidos a processamento no *Software R* (Figura 5), utilizando os seguintes pacotes: ‘*xlsx*’ para manipulação de arquivos Excel, ‘*FactoMineR*’ para análise de dados multivariados (Sebastien; Francois 2008), ‘*Factoextra*’ para visualizações de análises fatoriais (Kassambara; Mundt, 2020), ‘*corrplot*’ para visualização de matrizes de correlação (Taiyun, 2021) e ‘*Hmisc*’ para análise de dados e gráficos (Harrell, 2023). As amostras foram analisadas por meio de estatística descritiva.

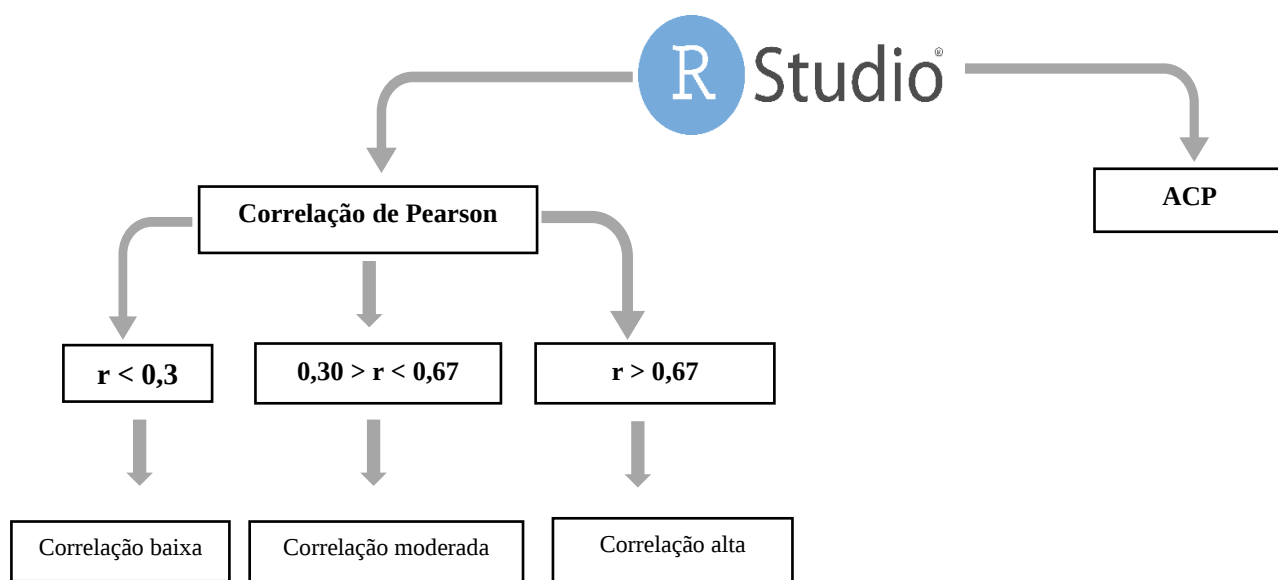


Figura 5. Fluxograma estatístico

4.3.4.1 Correlação de Pearson

Utilizou-se a correlação de Pearson para avaliar a relação entre as variáveis (Teixeira, 2021). As classificações do grau de correlação foram realizadas de acordo com a Figura 5, para ilustrar as relações entre as variáveis na correlação de Pearson utilizou-se um gráfico com círculos, sendo que cada um representa uma interação entre duas variáveis, e se essa interação não for significativa a um nível de 5% de confiança, o círculo recebe um "x". A força da correlação entre as variáveis é indicada por uma escala de cores.

4.3.4.2 Análise de componentes principais

Realizou-se uma Análise de Componentes Principais (ACPs) para sintetizar as informações originais em componentes distintos, conforme descrito por Russell et al. (2023). Utilizaram-se as duas primeiras componentes principais (CPs), que melhor representavam a porcentagem de variação das amostras explicada por essas componentes. A representatividade das interações entre as variáveis foi expressa como vetores, onde o menor ângulo entre eles no quadrante indica uma correlação mais forte, sendo o contrário também verdade, conforme exemplificado na Figura 6.

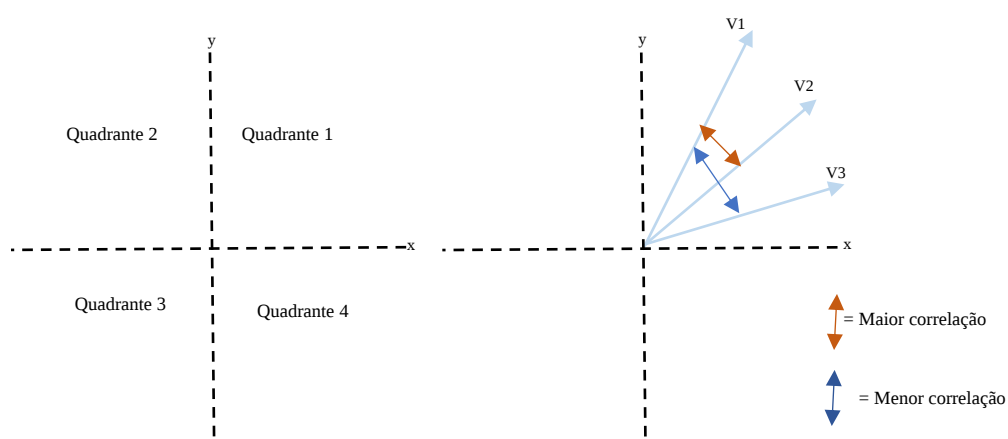


Figura 6. Exemplo de representação dos dados em componentes principais

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Variáveis ambientais

Os dados da correlação entre a Umidade Relativa *NASA POWER* (UR. NP) vs Umidade relativa DHT22 (UR. DHT22) e Temperatura Ambiente *NASA POWER* (TA. NP) vs Temperatura Ambiente DHT22 (TA. DHT22) apresentaram correlação positiva ($P < 0,05$), com coeficiente de correlação de 0,97 para temperatura e 0,91 para umidade. Dessa forma, os dados de temperatura apresentaram uma melhor correlação em relação à umidade, embora ambos tenham mostrado uma interação alta. Os autores Halimi, Karaca e Büyüktas (2023) obtiveram resultados similares ao utilizarem a técnica de correlação para avaliar a precisão

das variáveis meteorológicas medidas diariamente com o conjunto de dados NP, contrapondo com observações de estações meteorológicas terrestres, os mesmos autores afirmaram ainda que a distância do mar pode afetar a correlação da umidade relativa.

Tabela 1. Dados de correlação de Pearson de umidade relativa e temperatura ambiente do NASA POWER com sensores

	terrestres local			
	UR. DHT22	UR. DHT22	UR. DHT22	UR. DHT22
UR.NP	-	R 0,91	-	R ² 0,8287
TA.NP	R 0,97	-	R ² 0,94	-

De acordo com as medições horárias do ITU médio para os meses de junho e julho (Figura 7), as vacas estiveram mais sujeitas ao estresse térmico devido aos picos de ITU, especialmente às 12 h com 76,10 em junho e às 13 h com 88,57 em julho. Embora esses valores elevados tenham sido indicativos de estresse ambiental na escala de Hahn et al. (1997), foram observados valores médios de TR e FR (Tabela 2), que sinalizam estresse térmico controlado (Hahn et al., 1997), isso porque ao longo dos meses as vacas leiteiras se adaptam ao clima variável, passando por aclimação ao calor (Manica *et al.*, 2022).

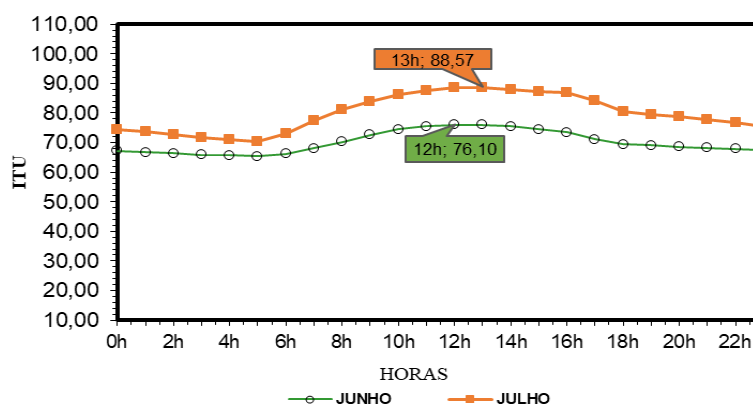


Figura 7. Índice de temperatura e umidade horária

A Figura 8A mostra a variação espacial da temperatura média durante o mês de junho na região leste do Maranhão a partir de uma série histórica composta por imagens coletadas entre os anos de 2017 e 2022. Esse mês é caracterizado como um período tipicamente chuvoso na região (Silva et al., 2018). As temperaturas variaram de 25,78 a 35,1 C°, com um desvio padrão de 10,54 °C. Essa variação de temperatura, juntamente com a precipitação,

pode afetar a ambiência do bovino leiteiro, pois as condições climáticas influenciam diretamente o conforto térmico dos animais (Bernabucci et al., 2010). Durante este período, é provável que os animais experimentem um ambiente mais fresco e úmido, o que pode afetar seu comportamento, saúde e produção de leite (West, 2003).

A Figura 8B representa a distribuição da temperatura média durante os meses de julho a partir de uma série histórica composta pelos anos de 2017 a 2022. Esse é um período seco na região leste maranhense (Silva et al., 2018). As temperaturas variaram de 26 a 37,23 °C. Durante o período seco, o bovino leiteiro pode enfrentar desafios adicionais devido ao aumento das temperaturas e à falta de chuva, pois quando a temperatura está acima ou abaixo da temperatura crítica, há necessidade de energia adicional para manter-se dentro da zona de conforto térmico (Ferreira et al., 2019). Ao analisar as Figuras 8(A) e (B) é visível um aumento na temperatura média de junho para julho. Esse aumento pode levar a um acréscimo no desconforto térmico nos animais, o que pode afetar negativamente sua saúde e produtividade (Bernabucci et al., 2010).

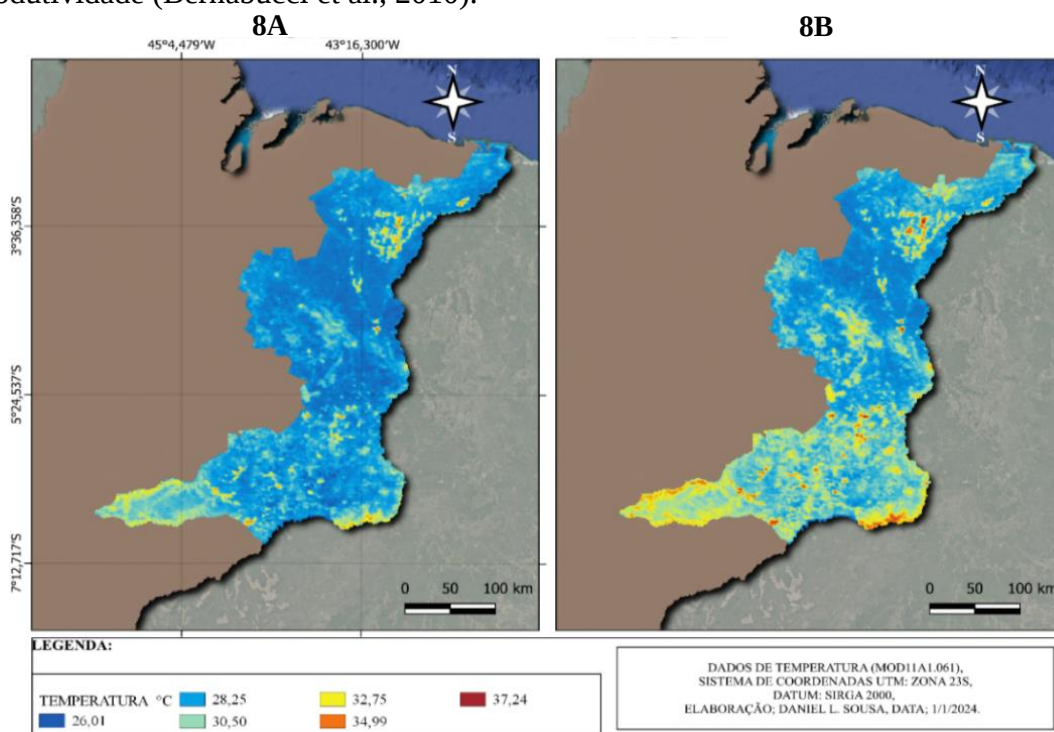


Figura 8. (A) Temperatura média durante os meses de julho no leste do estado do Maranhão entre os anos de 2017 a 2022, (B) A temperatura média para os meses de julho entre 2017 a 2022

5.2 Estatística descritiva e correlação de Pearson

Na análise da média dos dados, a TO apresentou a maior média das temperaturas faciais, seguida da TA e TF. Para a temperatura superficial corporal, seguiu a seguinte configuração: TSC MÁX com 38,06 °C, média com 34,30 °C e mínima com 28,13 °C (Tabela 2). Igualmente os autores Castro et al. (2018) observaram TSC MÉD aproximada de 35,05 °C durante manhã e tarde em bovino leiteiro.

Tabela 2. Estatística descritiva das variáveis de Frequência Respiratória (FR), Temperatura Retal (TR), Temperatura Auricular (TA), Temperatura Ocular (TO), Temperatura do Focinho (TF), Temperatura Superficial Corporal Máxima (TSC MÁX), Temperatura Superficial Corporal Média (TSC MÉD), Temperatura Superficial Corporal Mínima (TSC MÍN), Índice de Temperatura e Umidade (ITU), Umidade Relativa (UR)

	FR	TR	TA	TO	TF	TSC MÁX	TSC MÉD	TSC MÍN	ITU	UR	T. AMBIENTE
Média	44,12	38,27	35,26	35,719	34,361	38,06	34,3	28,13	84,24	74,70	31,88
Máximo	66,00	39,00	38,48	39,15	37,73	43,30	37,95	32,83	89,25	97,87	38,58
mínimo	32,00	37,60	30,63	32,85	30,63	32,23	29,40	21,90	76,06	47,06	24,98
variância	70,53	0,15	4,57	3,68	3,83	8,87	4,17	6,24	17,68	314,39	2042
Desvio padrão	8,398	0,383	2,13	1,91	1,95	2,97	2,04	2,49	4,20	17,73	4,51

Pereira (2005) afirma que as vacas mestiças leiteiras se encontram em condições ideais quando expostas a temperaturas ambientais entre 5 e 30 °C, acompanhadas de umidade relativa situada no intervalo entre 60% e 70%. Segundo (Azevedo et al., 2005) a zona termoneutra do ambiente para bovinos leiteiros situa-se entre 5 e 25°C.

Nesse contexto, os resultados deste estudo constataram que tanto a temperatura com 31,88 °C como a umidade relativa com 74,70 %, estavam acima, mas próximo dos limites máximos para um ambiente confortável (Tabela 1). No entanto, é importante destacar que esses parâmetros dependem da raça, cruzamento, idade, do consumo alimentar, da aclimatização, do nível de produção, do isolamento externo (pelame) do animal, utilizado no sistema de produção (Azevedo et al., 2005; Vasconcelos et al., 2019). A FR média nesse cenário foi de 44,12 mov/min (Tabela 1). Os autores Hahn et al. (1997) ressaltam que FR

máxima de 60 mov/min configuram estresse mínimo controlado. O resultado obtido de TR apresentou 38,7 °C (Tabela 1). Esses resultados convergem com Castro et al. (2018), que classificaram valores de TR de 38 a 39,3 °C como faixa normal de TR para vacas leiteiras.

Em relação ao desvio padrão, a umidade relativa apresentou o maior valor, enquanto a TR registrou o menor valor entre todas as variáveis (Tabela 2). Perissinotto et al. (2006) afirmam que a variação da TR depende dos mecanismos de liberação de calor e seu aumento excessivo ocorre se os mesmos se tornarem insuficientes. No conjunto de temperatura da superfície dos animais, a temperatura superficial corporal máxima exibiu o maior desvio (Tabela 2).

As variáveis TSC MÉD vs ITU, TSC MÍN vs FR, TSC MÍN vs TR e TSC MÁX vs TR apresentaram correlação significativa ao nível de 5% (Figura 9). A não correlação significativa entre as variáveis TR, FR e ITU com TA, TO e TF (Figura 9), pode ser atribuída à relação entre o animal observado e o observador, pois animais podem se comportar de maneira diferente na presença de humanos, assim um monitoramento remoto permitirá uma maior precisão no monitoramento dos animais (Bertoni et al., 2020).

Ao explorar o coeficiente de correlação de Pearson entre as temperaturas superficiais e os indicadores de estresse térmico em bovinos leiteiros, foi observado que as TSC MÉD e TSC MÍN exibiram uma correlação significativa com a TR, com coeficientes de 0,71 e 0,67, respectivamente, como pode ser observado na Figura 9, indicando correlação alta e moderada positiva.

Há uma significativa correlação entre TSC MÉD e TSC MÍN com a TR, mostrando então uma sensibilidade da temperatura da superfície com a temperatura central corporal, pois há alta representatividade da temperatura central do corpo pela TR em bovinos (Teixeira, 2021). No estudo de Martello et al. (2015), foram estabelecidas correlações entre 0,45 e 0,59 ao relacionar a temperatura de regiões laterais da superfície corporal com a TR de bovinos de corte.

A FR apresentou correlação moderada positiva com as temperaturas superficiais TSC MÉD e TSC MÍN, com os valores dos coeficientes de 0,66 e 0,59, respectivamente (Figura 9). A FR funciona como um regulador térmico, sendo impulsionada conforme a temperatura da superfície, isso porque os animais absorvem calor do ambiente por meio da pele, e a

exposição por um período prolongado desencadeia o mecanismo homeostático, resultando em incrementos na FR (Azevedo et al., 2005).

A TSC MÁX apresentou uma correlação mais discreta em relação às TSCs vistas anteriormente, com 0,52 para TR e 0,54 para frequência respiratória, sendo representada por uma correlação moderada positiva (Figura 9). O ITU teve correlação de moderada a baixa com as temperaturas faciais, e moderada com TSC MÁX, TSC MÍN e TSC MÉD (Figura 9). Conforme Rojas et al. (2021), para a avaliação do estado térmico em diversas espécies de ruminantes frequentemente são utilizadas as regiões da superfície do animal, essa abordagem focada na observação de áreas específicas proporciona uma compreensão abrangente das condições térmicas dos animais.

As correlações das temperaturas faciais foram baixas com a TR e FR e moderada com ITU (Figura 9). Os autores Martello et al. (2015) identificaram interações notáveis entre a TR e a FR com as temperaturas de regiões da superfície facial em bovino destinado à produção de carne, revelando significância estatística, com coeficientes de correlação variando entre 0,35 e 0,60. Essa variação de correlação com as temperaturas das regiões da superfície pode ser atribuída ao fato de que as temperaturas corporais medidas mais próximas da superfície externa estão mais suscetíveis à influência das condições ambientais, tornando-as menos estáveis em comparação às temperaturas corporais mais profundas (Martello et al., 2009).

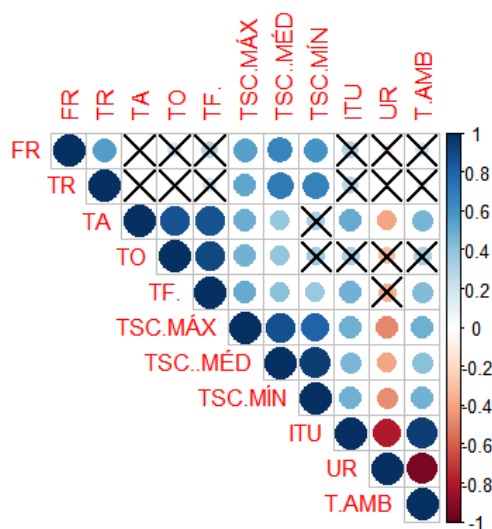


Figura 9. Nível de significância de 5% e correlação de Pearson ao nível de significância de 5%.

5.3 Análise de componentes principais

A Tabela 3 apresentam as principais componentes resultantes da análise multivariada, observou-se que as dimensões predominantes, isto é, as componentes 1 e 2, explicam uma parcela significativa dos dados, alcançando 72,1% da variância total, com autovalores de ordem de 5,77 e 2,15, respectivamente (Tabela 3).

Tabela 3 - Scree plot da proporção de autovalores das componentes e variância correspondente à explicação do Componente Principal e

Componente principal	Autovalores	Porcentagem de variações explicadas
CP.1	5,77	52,48
CP.2	2,16	19,62
CP.3	1,61	14,61
CP.4	0,52	4,72
CP.5	0,47	4,24
CP.6	0,20	1,81
CP.7	0,13	1,14
CP.8	0,07	0,68
CP.9	0,05	0,47
CP.10	0,02	0,22
CP.11	0,00	0,01

A disposição dos vetores de cada variável em relação aos dados revela uma influência significativa dos horários das 13 h e 11 h sobre todas as variáveis ambientais e fisiológicas (Figura 10). Essa relação é similar com resultados obtidos em diversas pesquisas que indicam que em momentos de temperatura mais elevada há um impacto direto no aumento das variáveis fisiológicas (Silva et al., 2009; Martello et al., 2015; Castro et al., 2018).

No primeiro quadrante é possível observar uma maior sensibilidade entre os vetores que representam FR e TR com as temperaturas corporais média, mínima e máxima, respectivamente (Figura 10), essa sensibilidade também foi captada pela correlação de Pearson. A capacidade do animal de resistir às condições de estresse calórico tem sido avaliada fisiologicamente por alterações na TR e FR (Perissinitto et al., 2006). Nesse contexto, a pele é um caminho importante para a troca de calor, e a sua temperatura é o resultado da regulação dessa troca de calor entre ela e o núcleo pelo fluxo sanguíneo (Teixeira, 2021).

Essa forte relação ocorre em razão de a temperatura superficial corporal ser uma métrica crucial para avaliar o estado de bem-estar dos animais, devido à sua forte correlação com a saúde animal (Turco et al., 2019). Isso porque animais ruminantes e não ruminantes tendem a responder a alterações em seu ambiente ou a um estímulo estressor essas repostas podem ser captadas por sensores (Turco et al., 2019).

Nesse contexto, câmeras equipadas com sensores são utilizadas para mensurar a emissão de calor irradiado durante o controle vasomotor (Casas-Alvarado et al., 2020). Assim, estes equipamentos tem como finalidade sintetizar e proporcionar maior precisão no trabalho para o monitoramento do rebanho, em comparação com métodos tradicionais. No quarto quadrante, os vetores que representam, TF, TO e TA demonstraram uma elevada sensibilidade à temperatura ambiente e ao ITU com intensidades diferentes (Figura 10). Esses resultados corroboram com Martello et al. (2015), onde verificou-se que a variabilidade da temperatura da pele segue padrões diferentes dependendo da região do corpo.

Essas variações ocorrem devido a propriedades morfológicas dos bovinos, incluindo a densidade numérica dos pelos, o comprimento dos pelos, a espessura da pelagem e a pigmentação, que exercem influência significativa nos processos de troca térmica (Costa et al., 2015). Essas características determinam a capacidade do animal de dissipar calor para o ambiente ou de reter calor corporal, impactando diretamente na termorregulação e no conforto térmico.

A mensuração da radiação térmica nas aberturas auricular, ocular e do focinho é crucial devido às suas características distintivas, tais como a elevada densidade de anastomoses arteriovenosas, presença de capilares sanguíneos e a ausência ou escassez da pelagem (Mota-rojas et al., 2021). Essas características são essenciais para facilitar a troca de calor com o ambiente por meio de ajustes no calibre dos vasos sanguíneos (Tattersall, 2016). Esses fatores explicam as correlações entre as temperaturas de regiões faciais com temperatura ambiente e o ITU, conforme evidenciado na Figura 10.

Os dados demonstraram com base na análise dos vetores TR e FR a influência dos horários das 13 e 17 h sobre essas variáveis (Figura 13). Linhares et al. (2015), explicam esse fenômeno ressaltando que a TR é um indicador fisiológico que mostra o calor retido pelas vacas ao longo do tempo, aumentando proporcionalmente ao estresse sofrido pelo animal durante o dia. Essa influência também pode ser vista na perspectiva que os animais são

normalmente ativos durante o dia, têm variação da TR, que é mínima pela manhã e máxima no período da tarde (Teixeira, 2021). Conforme apontado por Dalcin et al. (2016) esse aumento da FR entre 13 e 17 h ocorre devido a mesma ser o principal mecanismo de controle na homeotermia animal sob condições ambientais adversas.

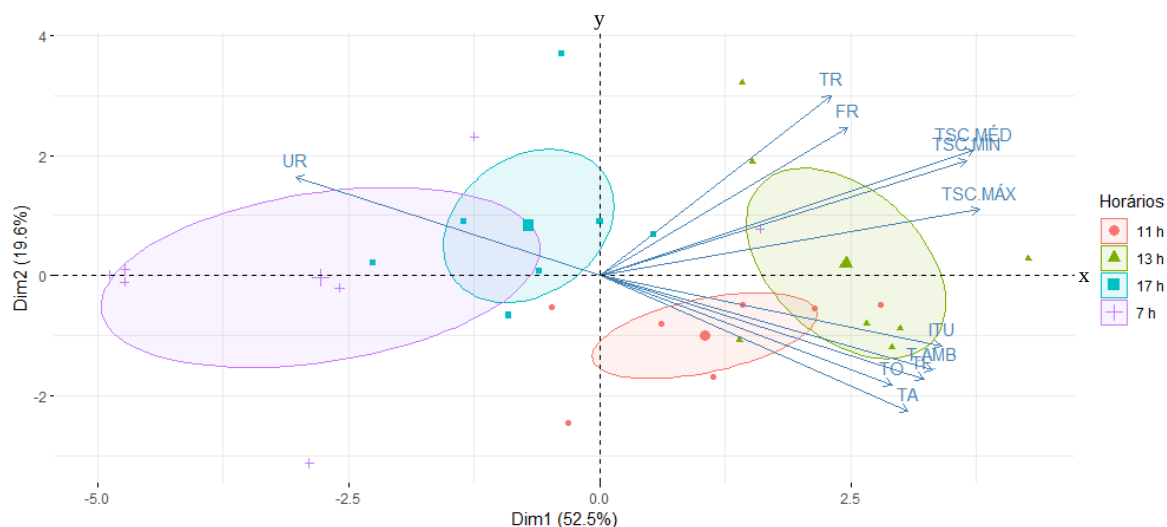


Figura 10. Representação dos grupos e vetores de amostras horário nas componentes principais

Da mesma forma, no período de 11 e 13 h foram marcadas as maiores temperaturas da superfície dos animais (Figura 10), esse resultado está correlacionado a maiores valores de ITU, que leva em consideração as variáveis ambientais temperatura e umidade relativa, pois as altas temperaturas do ambiente, a umidade relativa e a radiação solar dificultam a dissipação dos animais criado em climas tropicais (Vasconcelos et al., 2019). Isso se dá pelo fato de a intensidade da radiação solar correlacionar-se com a temperatura do ambiente na qual os animais residem, exercendo influência tanto na TR quanto nos tecidos corporais (Linhares et al., 2015).

Frente ao exposto, constatou-se que a utilização da técnica da termografia por infravermelho para mensurar o estado de conforto/estresse térmico se mostrou eficiente na área estudada, além de possibilitar a sua replicação para diferentes finalidades, desde que existam informações adequadas sobre os indicadores que influenciam na variação da TI, essas observações reforçam o potencial da tecnologia.

Nesse contexto, a irradiação captada em diferentes locais anatômicos do corpo animal tem potencial para ser utilizada como indicador de estresse térmico em bovinos leiteiros (Martello et al., 2009). Uma das primeiras alterações fisiológicas que ocorrem em bovinos em resposta ao estresse térmico é a mudança de temperatura da superfície corporal (Martello et al., 2015). Os autores Mota-Rojas et al. (2021) reforçam o potencial dessa técnica afirmando que em grandes ruminantes a termografia por infravermelho reúne informações de janelas térmicas que podem auxiliar no diagnóstico de patologias específicas e na determinação dos estados fisiológicos e do bem-estar animal. Assim, a análise termográfica será eficiente pois à medida que diminui o gradiente entre a temperatura do ambiente e a pele do animal, diminui a perda de calor sensível (Alves, 2014).

A técnica de análise de componentes principais destacou-se em relação à correlação de Pearson na representação das inter-relações entre as variáveis deste estudo. Essa ocorrência fundamenta-se nas limitações dos métodos estatísticos convencionais para abordar a influência de conjuntos de variáveis superiores a duas. Conforme argumentado por Vinicius da Silva (2019), os métodos estatísticos tradicionais são incapazes de explicar adequadamente a influência de conjuntos mais extensos de variáveis, uma vez que as análises convencionais podem apenas representar interações entre uma ou duas variáveis.

No entanto, mais pesquisas são necessárias para otimizar o uso destas tecnologias e explorar mais a relação entre as leituras de termografia e outros indicadores de estresse térmico.

6. CONCLUSÕES

A temperatura da superfície corporal dos animais, avaliada por TI, variou conforme a localização da região corporal selecionada para a medição. As temperaturas da região corporal e da facie apresentaram sensibilidade à variação dos indicadores de conforto/estresse térmico (TR, FR e ITU), de forma que as TSC MÉD e TSC MÍN tiveram uma melhor representatividade ao cenário de conforto térmico. No entanto, as temperaturas faciais mostraram uma correlação moderada a baixa com a TR, a FR e o ITU. Isso indica que, embora a termografia possa fornecer informações valiosas sobre o estresse térmico, ela não deve ser utilizada isoladamente, mas sim em conjunto com outras técnicas para uma avaliação.

7. REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, p. 711-728, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- ALVES, M. A. **Respostas termorreguladoras e ambiente térmico de bovinos leiteiros em regiões de clima tropical** (Dissertação de mestrado em Zootecnia) Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.
- ATKINS, I. K. et al. Continuous respiration rate measurement of heat-stressed dairy cows and relation to environment, body temperature, and lying time. **Transactions of the ASABE**, v. 61, p. 1475-1485, 2018. DOI: <https://doi.org/10.13031/trans.12451>
- AZEVEDO, D. M. M. R.; & ALVES, A. A. **Bioclimatologia aplicada à produção de bovinos leiteiros nos trópicos**. Teresina: Embrapa Meio-Norte-Documents (INFOTEC-A-E), 2009.
- AZEVEDO, M. et al. Estimativa de níveis críticos superiores do índice de temperatura e umidade para vacas leiteiras ¹/₂, ³/₄ e ⁷/₈ Holandês-Zebu em lactação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, p. 2000-2008, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1516-35982005000600025>
- BERNABUCCI, U. et al. Impact of hot environment on milk protein fractions in dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 93, p. 563-576, 2010. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8788>
- BERTONI, A. et al. Scientific findings related to changes in vascular microcirculation using infrared thermography in the river buffalo. **Journal of Animal Behaviour and Biometeorology**, v. 8, p. 288-297, 2020. DOI: <https://doi.org/10.31893/jabb.20038>
- BRASIL. **Mapa do leite**. 2023 Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/producao-animal/mapa-do-leite>>. Acesso em: 14 dez. 2023.
- CASAS-ALVARADO, A. et al. Advances in infrared thermography: surgical aspects, vascular changes, and pain monitoring in veterinary medicine. **Journal of Thermal Biology**, v. 92, p. 102664, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2020.102664>

CASTANHEIRA, M. **Análise multivariada de características que influenciam a tolerância ao calor em equinos, ovinos e bovinos.** (Tese de doutorado em Ciência Animal) - Escola de Veterinária da Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2009.

CASTRO, A. L. O. et al. Parâmetros fisiológicos de vacas F1 Holandês x Zebu criadas em ambientes com e sem sombreamento. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 70, p. 722-730, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-4162-9305>

CHACUR, M. et al. Aplicações da termografia por infravermelho na reprodução animal e bem-estar em animais domésticos e silvestres. **Revista Brasileira de Reprodução Animal**, v. 40, 2016.

CORRÊA, W., CARVALHO, M. W. L., & MENDES, T. J. Atualização da classificação climática e balanço hídrico climatológico no estado do Maranhão. **Revista Brasileira De Climatologia**, v. 32, p. 517–543, 2023. DOI: <https://doi.org/10.55761/abclima.v32i19.16727>

CORREIA FILHO, F. L.; GOMES, E; NUNES, O; FILHO, J. **Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea, estado do Maranhão: relatório diagnóstico do município de Chapadinha.** Teresina: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2011.

COSTA, P. A. et al. Características anatomofisiológicas de adaptação de bovinos leiteiros ao ambiente tropical. **Revista AGROTEC**, v. 36, p. 280-293, 2015. DOI: <https://doi.org/10.25066/agrotec.v36i1.22280>

CRUZ, C. D.; & REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético.** Viçosa, Imprensa Universitária, 1994. 394p.

DALCIN, V. C. et al. Physiological parameters for thermal stress in dairy cattle. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 45, p. 458-465, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1806-92902016000800006>

EMBRAPA. Anuário do leite 2023. Brasília: Embrapa, 2023.

FELICIO P. M. A. et al. Influência do estresse calórico na produção e qualidade do leite. **Revista Acadêmica: Ciência Animal**, v. 7, p. 483, 2009. DOI: <https://doi.org/10.7213/cienciaanimal.v7i4.10292>

FERREIRA, C. A. et al. Utilização de técnicas multivariadas na avaliação da divergência genética entre clones de palma forrageira **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, p.1560-1568, 2003.

FERREIRA, F. et al. Taxa de sudação e parâmetros histológicos de bovinos submetidos ao estresse calórico. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 61, p. 763-768, 2009.

FONSECA, M. E. B. Mastite bovina: revisão. **Pubvet**, v. 15, p. 1-18, 2021. DOI: <https://doi.org/10.31533/pubvet.v15n02a743.1-18>

GEORGE, W. D. et al. Relationship among eye and muzzle temperatures measured using digital infrared thermal imaging and vaginal and rectal temperatures in hair sheep and cattle. **Journal of Animal Science**, v. 92, p. 4949-4955, 2014. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2014-8087>

GIRO, A.; A. et al. Application of microchip and infrared thermography for monitoring body temperature of beef cattle kept on pasture. **Journal of Thermal Biology**, v. 84, p. 121-128, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2019.06.009>

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.

HAIR JUNIOR, J. F. et al. **Análise multivariada de dados**. 5.ed. Porto Alegre: Bookman, 2006. 593 p.

HALİMİ, A. H.; KARACA, C.; & BÜYÜKTAŞ, D. Evaluation of NASA POWER climatic data against ground-based observations in the mediterranean and continental regions of turkey. **Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi**, v. 20, p. 1-104, 2023. DOI: <https://doi.org/10.33462/jotaf.1073903>

HANSEN, P. J. Reproductive physiology of the heat-stressed dairy cow: implications for fertility and assisted reproduction. **Animal Reproduction**, v. 16, p. 497-507, 2019. DOI: <https://doi.org/10.21451/1984-3143-ar2019-0053>

HARRELL JR, F. Hmisc; Harrell Miscellaneous_. R, 2023, package version 5.1-1, <<https://CRAN.R-project.org/package=Hmisc>>.

HOFFMANN, R. **Componentes principais e análise fatorial**. Piracicaba: ESALQ/USP - DESR, 1992. 25 p. (Série Didática, 76).

KAISER, Henry F. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. **Psychometrika**, v. 23, p. 187-200, 1958. DOI: <https://doi.org/10.1007/bf02289233>

KASSAMBARA, A.; & MUNDT. F; _factoextra, 2020. **Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses_**. R package version 1.0.7, <<https://CRAN.R-project.org/package=factoextra>>.

LINHARES, A. S. F. et al. Respostas fisiológicas e manejo adequado de ruminantes em ambientes quentes. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 11, p. 27-33, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.30969/acsa.v11i2.664>

MACCIOTTA, N. P. P. et al. Use of multivariate factor analysis to define new indicator variables for milk composition and coagulation properties in Brown Swiss cows. **Journal of Dairy Science**, v. 95, p. 7346-7354, 2012. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5546>

MACCIOTTA, N. P. P. et al. Use of multivariate factor analysis to define new indicator variables for milk composition and coagulation properties in Brown Swiss cows. **Journal of Dairy Science**, v. 95, p. 7346-7354, 2012. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5546>

MANICA, E. et al. Changes in the pattern of heat waves and the impacts on Holstein cows in a subtropical region. **International Journal of Biometeorology**, v. 66, p. 2477-2488 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00484-022-02374-3>

MANLY, B.F.J. **Multivariate statistical methods: a primer** 2nd ed., London, Chapman & Hall, 1994.

MARINS, T. N. et al. Índices de estresse e conforto térmico associados aos parâmetros fisiológicos e perfil energético em vacas Girolando criadas a pasto na savana tropical. **Research, Society and Development**, v. 9, p. e111973672, 2020. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i7.3672>