



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
EM BIOTECNOLOGIA

BRENO ARAÚJO DE MELO

**Utilização da termografia infravermelha na detecção de mastite subclínica em búfalas mestiças Murrah × Jafarabadi (*Bubalus bubalis* – Linnaeus, 1758)**

MACEIÓ – AL  
2023

**BRENO ARAÚJO DE MELO**

**Utilização da termografia infravermelha na detecção de mastite subclínica em búfalas mestiças Murrah × Jafarabadi (*Bubalus bubalis* – Linnaeus, 1758)**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Rede Nordeste de Biotecnologia - RENORBIO, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Biotecnologia. Área de Concentração: Biotecnologia em Agropecuária.

Orientadora: Prof. Dr<sup>a</sup> Angelina Bossi  
Fraga

MACEIÓ – AL  
2023

**Catálogo na Fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**  
**Divisão de Tratamento Técnico**

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 – 1767

M528u Melo, Breno Araújo de.

Utilização da termografia infravermelha na detecção de mastite subclínica em búfalas mestiças Murrah x Jafarabadi (*Bubalus bubalis*) -Linnaeus, 1758 / Breno Araújo de Melo. – 2023.  
128 f.:il.

Orientadora: Angelina Bossi Fraga.

Tese (Doutorado na Rede Nordeste de Biotecnologia) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Química e Biotecnologia. RENORBIO. Maceió, 2023.

Bibliografia: f. 63-71.

Anexos: f. 72-128.

1. Búfalos. 2. Contagem de células somáticas. 3. Mastite bovina. 4. Imagens térmicas. I. Título.

CDU: 621.384.3:619:618.19-002

## Folha de aprovação

BRENO ARAÚJO DE MELO

### Utilização da termografia infravermelha na detecção de mastite subclínica em búfalas mestiças Murrah x Jafarabadi (*Bubalus bubalis*–Linnaeus,1758)

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia da Rede Nordeste de Biotecnologia – RENORBIO, Ponto Focal Alagoas, Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para a obtenção do Título de Doutor em Biotecnologia, Área de Concentração: Biotecnologia em Agropecuária.

Aprovada em: 27/10/2022.

#### BANCA EXAMINADORA



Documento assinado digitalmente  
ANGELINA BOSSI FRAGA  
Data: 03/11/2022 11:17:51-0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>

---

Prof. Dra. Angelina Bossi Fraga  
Orientadora - Universidade Federal de Alagoas - UFAL



Documento assinado digitalmente  
JOAO GOMES DA COSTA  
Data: 29/10/2022 09:28:26-0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>

---

Dr. João Gomes da Costa  
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA Alimentos e Territórios



Documento assinado digitalmente  
JOSIEL BORGES FERREIRA  
Data: 28/10/2022 15:50:32-0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>

---

Prof. Dr. Josiel Borges Ferreira  
Instituto de Zootecnia do Governo do Estado de São Paulo – IZ/SP



Documento assinado digitalmente  
KARLOS ANTONIO LISBOA RIBEIRO JUNIOR  
Data: 01/11/2022 14:37:08-0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>

---

Prof. Dr. Karlos Antônio Lisboa Ribeiro Júnior  
Universidade Federal de Alagoas - UFAL



Documento assinado digitalmente  
FABIANE CAXICO DE ABREU GALDINO  
Data: 02/11/2022 11:33:50-0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>

---

Profa. Dra. Fabiane Caxico de Abreu Galdino  
Universidade Federal de Alagoas - UFAL

Dedico à minha amada mãe Edna Araújo Alves de Melo, ao meu companheiro Thiago Umbelino, ao meu padrasto Almir Alves Teixeira, ao meu irmão Ítalo Bruno Araújo de Melo, à minha querida avó Maria Aparecida Araújo Alves e minha querida orientadora Dr<sup>a</sup>. Angelina Bossi Fraga.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus por todas as minhas conquistas e por estar sempre ao meu lado em todos os momentos durante minha caminhada.

À minha estimada orientadora Prof<sup>a</sup>. Dra. Angelina Bossi Fraga, pela dedicação e por todo o compartilhamento de sua sabedoria e ensinamentos.

Ao RENORBIO/Universidade Federal de Alagoas pela oportunidade de realização de minha formação.

À instituição CAPES pela contribuição na construção deste estudo.

Ao Sr. Alberto Couto pela disponibilidade de trabalharmos em sua propriedade.

Ao meu companheiro Thiago Umbelino por estar sempre ao meu lado.

À minha mãe Edna Araújo por ter me dado a oportunidade de me manter nos estudos durante toda minha vida.

À toda minha família em especial a minha avó Maria Aparecida e ao meu padrasto Almir Alves e meu querido irmão Ítallo Bruno Araújo de Melo pela contribuição em minha formação acadêmica.

## RESUMO

A mastite é uma inflamação da glândula mamária de origem multifatorial, causada principalmente por bactérias, acarretando perdas econômicas para todo o setor da produção de lácteos. Em geral, o controle e diagnóstico da mastite em fazendas é oneroso e demorado, em virtude da demanda por análises laboratoriais e outros procedimentos que impactam financeiramente esse setor. O diagnóstico por imagem por termografia infravermelha (TIV) tem se tornado promissor na medicina veterinária, por ser um método não invasivo e sem necessidade de contato direto e contenção do animal, sendo capaz de detectar as variações térmicas corporais associadas aos processos inflamatórios, como febre e alterações fisiológicas. O objetivo da presente pesquisa foi avaliar a eficiência da TIV para a detecção de mastite subclínica em búfalas leiteiras, fazendo-se a associação entre as imagens infravermelhas da superfície do úbere e os resultados dos testes convencionais para diagnóstico de mastite: Contagem de células somáticas (CCS) e *California Mastitis Test* (CMT). Foram avaliados 266 quartos mamários de búfalas leiteiras mestiças (Murrah × Jafarabadi). As imagens termográficas foram obtidas dos quartos: posterior direito (QPD) e posterior esquerdo (QPE). Para a obtenção das imagens termográficas foi utilizada uma câmera termográfica modelo FLIR TG165<sup>®</sup>. O diagnóstico da mastite subclínica foi realizado por CMT e CCS. Foram realizadas análises descritivas da CCS e temperatura infravermelha da superfície do úbere (TIVSU). Foram realizadas análises de correlação de Pearson entre CCS, CMT e TIVSU, além da regressão linear entre a CCS e TIVSU. A sensibilidade e especificidade da TIVSU, considerando-se duas categorias de indicação de mastite por CCS:  $>200 \times 10^3$  cel/mL e  $>400 \times 10^3$  cel/mL usando o pacote Receiver Operating Characteristic (ROC) software MedCalc. Os resultados do CMT mostraram que 61,28% (n=163) dos quartos mamários avaliados (n=266) eram sadios (CMT=0), enquanto 38,27% (n=103) apresentaram mastite subclínica (CMT= 1+, 2++ e 3+++). As médias de CCS ( $\times 10^3$  cel/mL) e TIVSU ( $^{\circ}\text{C}$ ) de acordo com cada categoria de CMT foram: 55,86 e 32,85 (CMT = 0); 509,35 e 33,52 (CMT = 1+); 1032,26 e 34,32 (CMT = 2++); 2839,48 e 34,83 (CMT = 3+++). As correlações foram positivas entre TIVSU/CCS (r=0,58) e TIVSU/CMT (r=0,60), ( $P < 0,0001$ ). Os valores (%) de sensibilidade, especificidade e acurácia do teste foram 68,93 e 80,37 e 80,70%, respectivamente, considerando-se os quartos com CCS  $> 200 \times 10^3$  cel/mL com mastite subclínica. Enquanto, considerando-se que os quartos com CCS  $> 400 \times 10^3$  cel/mL tenham mastite subclínica, os valores (%) de sensibilidade, especificidade e acurácia do teste foram 79,52%, 79,78% e 86,00%, respectivamente. A TIV foi capaz de detectar alterações na superfície da pele do úbere das búfalas causadas pela mastite subclínica. A relação significativa e positiva entre os indicadores de mastite subclínica (CMT e CCS) e os valores preditivos de sensibilidade, especificidade e eficácia do teste indicaram que essa tecnologia é uma ferramenta promissora e não invasiva para o diagnóstico precoce de mastite subclínica em búfalas leiteiras.

**Palavras-chave:** Búfalos, Contagem de Células Somáticas, *California Mastitis Test*, imagens térmicas, especificidade, sensibilidade.

## ABSTRACT

Mastitis is an inflammation of the inflammation of the mammary gland of origin, causing multifunctionality mainly for the entire dairy production sector. In general, mastitis diagnosis control is expensive on farms, due to the demand for laboratory tests and other procedures that financially affect this sector. Diagnostic imaging by infrared thermography (IRT) has become promising in veterinary medicine, as it is a non-invasive and non- method of direct contact and containment of the animal need, being able to determine the thermal variations indicated as red fever to inflammation processes, and physical changes. The aim of the present research was to evaluate the efficiency of IRT for the detection of subclinical mastitis in dairy buffaloes, making the association between the infrared images of the udder surface and the results of the conventional tests for the diagnosis of mastitis: Somatic cell count (SCC) and California Mastitis Test (CMT). A total of 266 mammary quarters of crossbred dairy buffaloes (Murrah × Jafarabadi) were evaluated. Thermographic images were obtained from the quarters: right hindquarters (RBR) and left hindquarters (LBR). Thermal imaging and milk samples were taken at 60-day intervals between the years 2021 and 2022. Samples were obtained before the morning milking. To obtain the thermographic images, a thermographic camera model FLIR TG165<sup>®</sup>. The diagnosis of subclinical mastitis was performed by CMT and SCC. Descriptive analyzes of SCC and udder surface skin temperature (USST) were performed according to each CMT score (0, 1+, 2++ and 3+++). Pearson's correlation analyzes were performed between CCS, CMT and USST. The sensitivity and specificity of IRT, considering two categories of indication of mastitis by CCS:  $>200 \times 10^3$  cell/mL and  $>400 \times 10^3$  cell/mL using the Receiver Operating Characteristic (ROC) package, MedCalc software. The CMT results showed that 61.28% (n=163) of the evaluated mammary quarters (n=266) were healthy (CMT=0), while 38.27% (n=103) had subclinical mastitis (CMT= 1+, 2++ and 3+++). The means of SCC ( $\times 10^3$  cell/mL) and USST ( $^{\circ}\text{C}$ ) according to each CMT category were: 55.86 and 32.85 (CMT = 0); 509.35 and 33.52 (CMT = 1+); 1032.26 and 34.32 (CMT = 2++); 2839.48 and 34.83 (CMT = 3+++). Correlations were positive between: USST/SCC ( $r=0.58$ ) and USST/CMT ( $r=0.60$ ), ( $P<0.0001$ ). The values (%) of sensitivity specificity and accuracy were 68.93, 80.37 and 80.70%, respectively, considering the quarters with  $\text{SCC} >200 \times 10^3$  cell/mL with subclinical mastitis. Whereas, considering that the quarters with  $\text{SCC} >400 \times 10^3$  cel/mL have subclinical mastitis, the values (%) of sensitivity, specificity and accuracy were 79.52%, 79.78%, and 86.00%, respectively. IRT was able to detect alterations in the surface of the skin of the udder of buffaloes caused by subclinical mastitis. The significant and positive relationship between the subclinical mastitis indicators (CMT and SCC) and the predictive values of sensitivity, specificity and efficacy of the test indicated that this technology is a promising and non-invasive tool for the early diagnosis of subclinical mastitis in dairy buffaloes.

**Keywords:** Buffalos, Somatic cell count, California mastitis test, milk production, thermal images.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	<i>Bubalus arnee</i> (búfalo selvagem asiático).....	18
Figura 2 -	Mapa: Índia, Sri Lanka e Nepal.....	19
Figura 3 -	Búfalos da raça Mediterrânea.....	21
Figura 4 -	Búfalos da raça Murrah.....	22
Figura 5 -	Búfalos da raça Jafarabadi.....	22
Figura 6 -	Búfalos da raça Carabao.....	22
Figura 7 -	Esquema do experimento da luz infravermelha de Sir William Herschel..	28
Figura 8 -	Espectro eletromagnético.....	29
Figura 9 -	Ilustração de três “janelas” e seus respectivos comprimentos de onda do espectro eletromagnético.....	30
Figura 10 -	Registro do primeiro uso do termômetro infravermelho no diagnóstico de lesões de membros em equinos no ano de 1963.....	33
Figura 11 -	Diagrama simplificado de um termovisor genérico.....	35
Figura 12 -	Demonstração da dissipação do calor corporal por meio da radiação infravermelha através da pele e sua captura pela câmera infravermelha e elaboração do termograma com a imagem infravermelha e suas respectivas temperaturas.....	35
Figura 13 -	Rebanho de búfalas (Murrah × Jafarabadi) usadas no experimento.....	40
Figura 14 -	Termômetro digital modelo Valley GT® usado nas coletas dos dados meteorológicos.....	41
Figura 15 -	Registro das imagens térmicas da superfície da pele do quarto posterior esquerdo ( <b>A</b> ) e quarto posterior direito ( <b>B</b> ).....	42
Figura 16 -	Demonstração do posicionamento dos animais em sistema de ordenha em linha de peixe.....	42
Figura 17 -	Esquema do posicionamento, distância, ângulo e direcionamento do laser infravermelho durante os registros das imagens termográficas.....	43
Figura 18 -	Demonstração dos escores obtidos no teste de CMT de acordo com o método de Whily et al. (2005). 0 = reação negativa, 1(+) = reação fracamente positiva, 2(++) = reação moderadamente positiva e 3(+++) = reação fortemente positiva.....	44

Figura 19 -	Fotografia do úbere sadio (à esquerda); Imagem infravermelha e temperatura infravermelha da superfície do úbere sadio (à direita).....	48
Figura 20 -	Fotografia do úbere com mastite subclínica (à esquerda); Imagem infravermelha e temperatura infravermelha da superfície do úbere com mastite subclínica (à direita).....	49
Figura 21 -	Médias da temperatura infravermelha da superfície do úbere (TIVSU) de búfalas sadias (escore CMT=0) e búfalas com mastite subclínica (escore CMT=1+, 2++ e 3+++). ** médias diferiram significativamente pelo teste de SNK ( $P < 0,05$ ).....	49
Figura 22 -	Sensibilidade, especificidade e AUC da TIVSU quando os quartos mamários foram categorizados como sadios ( $CCS \leq 200 \times 10^3$ cel/mL, n = 103) e quartos mamários com mastite subclínica ( $CCS > 200 \times 10^3$ cel/mL, n = 163).....	51
Figura 23 -	Sensibilidade, especificidade e AUC da TIVSU quando os quartos mamários foram categorizados como sadios ( $SCC \leq 400 \times 10^3$ cel/mL, n = 83) e quartos mamários com mastite subclínica ( $SCC > 400$ , n = 183)....	52
Figura 24 -	Sensibilidade, especificidade e AUC da TIVSU quando os quartos mamários foram categorizados como sadios (CMT = 0, n = 160) e quartos mamários com mastite subclínica (CMT = 1, n = 106).....	52

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Classificação taxonômica do búfalo.....	20
Tabela 2 -	Cinco principais grupos raciais de búfalos de rio.....	21
Tabela 3 -	Principais raças bubalinas brasileiras e sua classificação de acordo com a variedade, origem e aptidão.....	23
Tabela 4 -	Relação dos cinco maiores países produtores de leite búfala e seus respectivos rebanhos de búfalos.....	24
Tabela 5 -	Coefficientes de emissividade ( $\epsilon$ ) aplicados em pesquisas em diferentes espécies animais.....	32
Tabela 6 -	Modelos de câmeras infravermelhas utilizadas em estudos em diferentes espécies de animais de produção.....	36
Tabela 7 -	Níveis de classificação dos quartos mamários de búfalas mestiças (Murrah x Jafarabadi) como saudáveis ou com mastite subclínica.....	46
Tabela 8 -	Estatística descritiva dos dados meteorológico temperatura ambiente (TA, °C) e umidade relativa do ar (UR, %) mensuradas durante os anos de 2021 e 2022.....	47
Tabela 9 -	Estatística descritiva da Contagem de células somáticas (CCS $\times 10^3$ cel/mL) e temperatura infravermelha da superfície do úbere (TIVSU, °C) distribuídos por escore de <i>Californian Mastitis Test</i> (CMT).....	48
Tabela 10 -	Médias, desvio padrão e variação térmica da CCS e TIVSU dos quartos mamários sadios (CCS $\leq 200 \times 10^3$ cel/mL ou CCS $\leq 400 \times 10^3$ cel/mL) e com mastite subclínica (CCS $> 200 \times 10^3$ cel/mL ou $> 400 \times 10^3$ cel/mL) das búfalas em estudo.....	50
Tabela 11 -	Sensibilidade, especificidade, razão de máxima verossimilhança positiva e razão de máxima verossimilhança negativa e acurácia da curva ROC (AUC) da TIV em detectar mastite subclínica nas búfalas baseados em CCS $> 200 \times 10^3$ cel/mL, CCS $> 400 \times 10^3$ cel/mL e escore CMT = 1 (1+, 2++ e 3+++)......	53

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

CCS	Contagem de células somáticas
CMT	California mastitis test
TIV	Termografia infravermelha
TIVSU	Termografia infravermelha da superfície do úbere
QPE	Quarto posterior esquerdo
QPD	Quarto posterior direito
TA	Temperatura do ar
UR	Umidade do ar
SNK	Student-Newman-Keuls
ROC	Receiver Operating Characteristics
AUC	Acurácia da área ROC

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>18</b>
2.1 O búfalo.....	18
2.2 A bubalinocultura de leite.....	23
2.3 A mastite.....	24
2.4 Princípios da termografia infravermelha.....	28
2.5 Uso da termografia infravermelha na medicina veterinária.....	32
2.6 Avaliação do desempenho preditivo da termografia infravermelha.....	36
2.7 Perspectiva e viabilidade da termografia infravermelha na pecuária.....	37
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>40</b>
<b>4 RESULTADOS.....</b>	<b>47</b>
<b>5 DISCUSSÃO.....</b>	<b>54</b>
<b>6 CONCLUSÕES.....</b>	<b>62</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>63</b>
<b>ANEXOS</b>	
ANEXOS A. Artigo de revisão: Infrared thermography on animal livestock.....	72
ANEXOS B. Artigo científico: Utilização da termografia infravermelha na detecção de mastite subclínica em búfalas mestiças Murrah × Jafarabadi ( <i>Bubalus bubalis</i> – Linnaeus, 1758).....	97
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>127</b>

# 1 INTRODUÇÃO

A mastite é uma inflamação da glândula mamária (*mast* = mama; *itis* = inflamação) de origem multifatorial (VIGUIER et al., 2009). Essa doença é uma das principais enfermidades que acomete o gado leiteiro, sendo responsável por perdas econômicas significativas devido à redução da produção e da qualidade do leite (SATHIYABARATHI et al., 2018). A infecção da glândula mamária é causada, principalmente, por bactérias (KHAN e KHAN, 2006). As principais bactérias isoladas do leite de búfalas com mastite pertencem aos gêneros *Staphylococcus* spp., *Streptococcus* spp., *Corynebacterium* spp. e *Escherichia* spp., (ALI et al., 2011; MEDEIROS et al., 2011; SRINIVASAN et al., 2013; MEDEIROS et al., 2013; PIZAURO et al., 2014; SILVA et al., 2014; MOURA et al., 2017; PATEL et al., 2019; MELO et al., 2022a).

De acordo com a sintomatologia da infecção, a mastite pode ser classificada em clínica ou subclínica. A mastite clínica é caracterizada pelo aparecimento visível dos sintomas clínicos característicos de infecção como alteração do leite e da glândula mamária. Por outro lado, a mastite subclínica é assintomática, ou seja, não apresenta sinais clínicos visíveis no leite e/ou na glândula mamária (RADOSTITS et al., 2006), e devido à ausência de sinais clínicos (VIGUER et al., 2009), são necessários testes de diagnósticos de amostras de leite como, por exemplo, o *California mastitis test* (CMT) e a Contagem de células somáticas (CCS).

Apesar da ausência de sinais clínicos visíveis, a mastite subclínica pode causar alterações histológicas relevantes no parênquima da glândula mamária, comprometendo a produção de leite (RADOSTITS et al., 2006), aumentando a CCS e reduzindo a qualidade do leite e dos produtos lácteos (KHAN E KHAN, 2006). Pesquisas apontam que a incidência da mastite subclínica em búfalas é maior que a mastite clínica, podendo variar de 5,46% a 70,0% nos rebanhos (JINGAR et al., 2014; ALI et al., 2014; SILVA et al., 2014; MOURA et al., 2017; ELAHIA et al., 2018; BHUTIA et al., 2019; MELO et al., 2022a).

O diagnóstico da mastite por meio do CMT e CCS demanda por tempo de execução devido à necessidade de coleta do material biológico para teste, e muitas vezes se faz necessário a contenção física dos animais, podendo causar desconforto e estresse aos mesmos. Além disso, a CCS apesar de ser “padrão ouro” para diagnóstico direto da mastite subclínica, alguns fatores como dificuldade de envio das amostras de material biológico ao laboratório e os custos com as análises impedem sua realização com maior frequência. De acordo com Pampariene et al. (2016), CMT apesar de ter como vantagem avaliar a infecção de vacas por

quartos mamários individualmente, tem como fator limitante o aumento dos custos de produção devido à quantidade e preço dos reagentes utilizados, impossibilitando sua aplicabilidade diária em todo o rebanho.

A detecção precoce da mastite é uma importante medida de prevenção das perdas econômicas ao setor devido à redução da produção e qualidade do leite, além de permitir tratamento rápido e eficaz dos animais (SATHIYABARATHI et al., 2018). Nas últimas décadas a tecnologia tem permitido inserir novas ferramentas em diversas áreas da produção animal, visando facilitar o diagnóstico e controle da mastite em animais de fazenda. Dentre essas, a termografia infravermelha (TIV) tem sido uma ferramenta promissora para o diagnóstico de algumas doenças e alterações metabólicas em animais de produção (MELO et al., 2022b). A TIV consiste em um método de diagnóstico não invasivo capaz de detectar o calor superficial de um corpo físico emitido como radiação infravermelha (SATHIYABARATHI et al., 2016), sem a necessidade de contato direto com o animal (MCMANUS et al., 2016). O uso de biossensores que permitem o bem-estar animal proporciona benefícios sociais, de saúde, ambientais e econômicos (NEETHIRAJAN et al., 2017).

A temperatura corporal é um importante indicador para diagnóstico e compreensão de aspectos fisiológicos devido à estreita relação entre temperaturas anormais e processos inflamatórios (POIKALAINEN et al., 2012; NÄÄS et al., 2014). A avaliação e monitoramento em tempo real da saúde animal produz um impacto direto na produtividade animal (NEETHIRAJAN et al., 2017). Portanto, a TIV permite identificar precocemente animais doentes, tornando o tratamento e isolamento desses animais mais rápido, potencializando o diagnóstico, controle da doença e manutenção da saúde do rebanho.

A TIV é capaz de registrar variações térmicas na superficial da pele do úbere acometido pela mastite devido ao aumento do fluxo sanguíneo (EDDY et al., 2001; BERRY et al., 2003; MARTINS et al., 2012; LUZI et al., 2013) e a resposta inflamatória, os quais estão associados à elevação da temperatura na região afetada (BERRY et al. 2003). Vários estudos têm mostrado resultados promissores da TIV no diagnóstico de mastite em vacas (BERRY et al., 2003; COLAK et al., 2008; PORCIANATO et al., 2009; POLAT et al., 2010; DIGIOVANI et al., 2016; CHACUR et al., 2016; GOLZARIAN et al., 2017; BYRNE et al., 2018; ZANINELLI et al., 2018; SATHIYABARATHI et al., 2018), búfalas (SURIBBI et al., 2022), ovelhas (MARTINS et al., 2012; CASTRO-COSTA et al., 2014) e cabras (MARTINS et al., 2012; SUTHERLAND et al., 2020; PULIDO-RODRÍGUEZ et al., 2021).

Apesar da importância das búfalas para a cadeia leiteira, a maioria das pesquisas com aplicação da TIV é conduzida na espécie bovina, tornando escasso esse tipo de estudos em búfalas. Isso reflete os baixos avanços tecnológicos empregados na bubalinocultura leiteira quando comparado à bovinocultura de leite. Portanto, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a capacidade da TIV no diagnóstico de mastite subclínica em búfalas leiteiras por meio da associação entre temperaturas infravermelhas da superfície da pele do úbere e testes convencionais de detecção de mastite CMT e CCS, sugerindo um método de diagnóstico e controle de mastite rápido e menos oneroso em búfalas leiteiras.

## **Objetivos específicos**

- Analisar a incidência da mastite subclínica no rebanho de búfalas em estudo por meio dos testes convencionais CMT e CCS de amostras do leite;
- Avaliar a características do leite quanto a CCS das búfalas em estudo;
- Fazer um estudo da aplicabilidade da termografia infravermelha na produção animal;
- Mensurar as temperaturas superficiais das regiões corporais das búfalas do presente estudo usando a termográfica infravermelha, visando um mapa térmico corporal desses animais;
- Mensurar as temperaturas infravermelhas da superfície da pele do úbere das búfalas em estudo.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 O búfalo

O búfalo doméstico teve sua origem do Arni (*Bubalus arnee*) ou búfalo selvagem asiático (Figura 1), os quais tinham como habitat a região norte da Índia, Sri Lanka e Nepal (Figura 2). Atualmente esses animais ainda podem ser encontrados nestas regiões, sobrevivendo em manadas selvagens. No norte da Índia, onde existe uma abundante quantidade de fósseis de animais, foram encontrados dois fósseis de búfalos da Era do Plioceno, de dois tipos distintos que tinham relacionamentos em comum, um com o búfalo indiano selvagem e outro com o Anoa e o Tamarao. Este último, é um animal bastante raro encontrado somente na Islândia e nas Filipinas, o qual também é conhecido como búfalo Mindoro possuindo uma semelhança entre o Arni e o Anoa (LYDEKKER, 1885; COCKRILL, 1974; MASON et al., 1977). Durante o final da era do Pleistoceno, há aproximadamente 12.000 anos, o *Bubalus arnee* possuía uma ampla distribuição que se estendia desde o sul da Ásia até a Europa. Entretanto, as alterações climáticas, as ações do homem e fatores genéticos contribuíram para a redução significativa de búfalos selvagens no mundo (COCKRILL, 1974).



**Figura 1** - *Bubalus arnee* (búfalo selvagem asiático)

Fonte: <https://www.iucnredlist.org/species>



**Figura 2** – Mapa: Índia, Sri Lanka e Nepal.  
Fone: <https://www.educabras.com>

Na Tabela 1 está apresentada a classificação taxonômica dos búfalos. Em 1758, Linnaeus em sua obra intitulada *Systema Naturae* incluiu todos os membros pertencentes à família dos bovídeos como sendo do gênero *Bos*. Posteriormente, devido as diferenças anatômicas existentes, os búfalos foram inseridos no Gênero *Bubalus* e, em 1827 H. Smith inseriu a terminologia *bubalis* classificando-os como *Bubalus bubalis* os búfalos de origem indiana. Essa classificação foi usada para todas as variedades de búfalo domésticos, sendo o termo *Bubalus arnee*, usado somente para espécies de búfalos selvagens de origem asiática. A espécie *Bubalus bubalis* (LINNEUS, 1758) é subdividida em duas subespécies: *Bubalus bubalis bubalis* (búfalo de rio) e *Bubalus bubalis kerebeu* (búfalos de pântano). As espécies selvagens são compostas pelos: *Bubalus arnee* (búfalo asiático, Arni), *Bubalus mindorensis* (Tamarao) e *Bubalus domesticornis* (Anoa) (LYDEKKER, 1885; CROCKILL, 1974; MASON et al., 1977).

**Tabela 1** - Classificação taxonômica do búfalo

---

Reino	<i>Animalia</i> (Animal)
Classe	<i>Mammalia</i> (Mamíferos)
Ordem	<i>Artiodáctilo</i> (dedos pares)
Subordem	<i>Ruminantia</i> (Ruminantes)
Família	<i>Bovidae</i> (Ruminantes com chifres ocos, incluindo bois, carneiros, cabras e os verdadeiros antílopes)
Subfamília	<i>Bovinae</i> (bovino, sincerinos e bubalinos)
Gênero	<i>Bubalus</i>
Espécie	<i>Bubalus mindorensis</i> (Tamaraw)
	<i>Bubalus depressicornis</i> (Anoa)
	<i>Bubalus arnee</i> (Búfalo selvagem asiático ou búfalo indiano)
Subespécie	<i>Bubalus bubalis</i> (Búfalo indiano ou búfalo doméstico)
	<i>Bubalus bubalis variedade bubalis</i> (Rio) (2n=50)
	<i>Bubalus bubalis variedade kerebeu</i> (Pântano) (2n=48)

---

Fonte: LYDEKKER, 1885; FALCONER, 1895; COCKRILL, 1974

A domesticação do búfalo selvagem (*Bubalus arnee*) teve início aproximadamente durante o segundo milênio a.C. na região da Mesopotâmia, sendo historicamente mais recente que a domesticação dos *Bos taurus* e *Bos indicus*, datada de cerca de 10.000 anos (MARQUES et al., 1998; BORGHESE, 2005). A partir da década 80 anos. As características produtiva e adaptativa do búfalo permitiram que a espécie fosse disseminada para várias regiões do mundo (BERNARDES, 2007). De acordo com a Associação Brasileira dos Criadores de Búfalos [ABCB, 2016], a introdução dos búfalos no Brasil ocorreu em 1906 por Vicente Chermont de Miranda na costa Norte da Ilha de Marajó no estado do Maranhão.

O *Bubalus bubalis bubalis* é conhecido mundialmente por búfalo de rio, doméstico ou indiano, os quais são encontrados na Índia, Paquistão, China, Turquia, Itália, região do Mediterrâneo, Europa e América (MARQUES et al., 1998; RAMOS, 2008). O búfalo de pântano (*Bubalus bubalis kerebeu*) é encontrado em várias partes do mundo como no Ceilão, Indochina, Ilhas da Indochina, Filipinas, Malásia, Vietnã, Indonésia (MARQUES et al., 1998) e Brasil (MCMANUS, 2010).

Existem aproximadamente cerca de 21 raças de búfalos de rio e 4 raças de búfalos de pântano no mundo. Entretanto, o búfalo de rio compõe a grande maioria dos rebanhos de búfalos domesticados ou semi-domesticados. A reprodução pura e seletiva, ao longo de vários séculos, levou à existência de uma população de animais com características únicas e adaptadas a uma dada condição ambiental, contribuindo para o surgimento das raças de

búfalos atuais como, por exemplo, as raças Murrah, Kundi, Nili-Ravi, Surti e Jafarabadi, disseminadas para todas as regiões do mundo (DHANDA, 2004). As raças de búfalos de rio podem ser classificadas em cinco grandes grupos: Murrah, Gujarat, Uttar Pradesh, Central Indian e South Indian, Tabela 2.

**Tabela 2** - Cinco principais grupos raciais de búfalos de rio

Grupos	Raças
Murrah	Murrah, Nili/Ravi, Kundi, Godavari
Gujarat	Surti Mehsana, Jafarabadi
Uttar Pradesh	Bhadawari, Tarai
Central Indian	Nagpuri, Pandharpuri, Manda, Jerangi, Kalahandi, Sambalpur
South Indian	Toda, South Kanara

Fonte: DHANDA, 2004

O grupo Murrah é composto pelas principais raças leiteiras difundidas no mundo (DHANDA, 2004). De acordo com a ABCB (2016), o rebanho bubalino brasileiro é constituído basicamente pelas raças: Mediterrânea, Murrah e Jafarabadi (búfalos de rio) (Figuras 3, 4, 5 e 6) e a raça Carabao (búfalo de pântano). Na tabela 3 estão descritas as principais raças de búfalos domésticos no Brasil e suas origens.



**Figura 3** - Búfalos da raça Mediterrânea

Fonte: ABCB, 2016



**Figura 4** - Búfalos da raça Murrah  
Fonte: MELO, 2017



**Figura 5** - Búfalos da raça Jafarabadi  
Fonte: ABCB, 2016



**Figura 6** - Búfalos da raça Carabao  
Fonte: ABCB, 2016

**Tabela 3** - Principais raças bubalinas brasileiras e sua classificação de acordo com a variedade, origem e aptidão

Variedade	Raças	Origem	Aptidões
Búfalos de rio	Murrah	Índia e Paquistão	Leite
	Jafarabadi	Índia	Leite e carne
	Mediterrânea	Itália	Leite e carne
Búfalos de pântano	Carabao	Ásia	Leite, carne e trabalho

Fonte: ANDRADE e GARCIA (2005).

## 2.2 A bubalinocultura de leite

A população mundial de búfalos é de aproximadamente 203,5 milhões de cabeças. O continente asiático detém 98% do rebanho bubalino mundial com aproximadamente 199,5 milhões de cabeças, seguido pela América (1,8 milhões), África (1,6 milhões), Europa (477 mil) e a Oceania (166 cabeças) (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO] (2020). De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [IBGE] (2017), no Brasil a maior concentração do rebanho bubalino está localizada na região Norte (622 mil cabeças), seguido pelas regiões Sudeste (126 mil cabeças), Nordeste (83 mil cabeças), Sul (82 mil cabeças%) e Centro-Oeste (35 mil cabeças).

A espécie bubalina é responsável pela segunda maior fonte de leite do mundo. A produção mundial de leite bubalino é de aproximadamente 134,4 milhões de toneladas. Somente a Ásia produz 98,4% da produção mundial com aproximadamente 132,3 milhões de toneladas. A África, Europa, América e Oceania juntas produzem apenas 1,6 milhões de toneladas de leite bubalino. Os cinco maiores produtores de leite bubalino são a Índia, seguido pelo Paquistão, China, Egito e Nepal, respectivamente, Tabela 4. Juntos, esses países produzem 90% da produção mundial de leite de búfala e 86,8% do rebanho bubalino mundial (FAO, 2020).

O Brasil tem cerca de 14.735 fazendas produtoras de leite de búfala responsáveis pela produção de aproximadamente 92,3 milhões de litros de leite por ano (IBGE, 2017). Cerca de 50% do leite de búfala produzido é destinado à produção de derivados lácteos, com faturamento bruto da ordem de U\$ 55 milhões aos laticínios e de U\$ 17 milhões aos criadores (BERNARDES, 2007).

**Tabela 4** - Relação dos cinco maiores países produtores de leite búfala e seus respectivos rebanhos de búfalos

País	Produção de leite (Milhões de toneladas)	Rebanho (Milhões de cabeças)
Índia	90,0	101,7
Paquistão	37,2	41,1
China	2,9	27,2
Egito	1,7	1,6
Nepal	1,3	5,2
Total	133,1	176,8

Fonte: FAO (2020).

A produção de leite de búfala, devido aos seus atributos qualitativos importantes parâmetros para a indústria láctea, tem apresentado crescimento relevante nas últimas décadas, principalmente para a produção de queijos do tipo *mozzarella*. O teor de gordura e proteína do leite de búfala varia de 5,60% a 7,30% e 3,80% a 4,30%, respectivamente (AHMAD et al., 2008; SALES et al., 2018; FANGMEIER et al., 2019), enquanto que no leite de vaca a composição de gordura e proteína varia de 3,80% a 4,10% e 3,30% a 3,39%, respectivamente (AHMAD et al., 2008; FANGMEIER et al., 2019). Devido à essas características nutricionais, o leite de búfala apresenta uma superioridade de cerca de 50% de rendimento na produção de queijo *mozzarella* quando comparado à produção utilizando leite de vaca.

De acordo com Citro (2010), para produzir 20 a 22 kg de queijo *mozzarella* de búfala são necessários cerca de 100 litros de leite de búfala, enquanto que para produzir de 10 a 12 kg de queijo *mozzarella* de vaca são necessários cerca de 100 litros de leite de vaca. Entretanto, algumas doenças podem comprometer a saúde e o desempenho produtivo dos animais, comprometendo a qualidade do leite e derivados lácteos. Dentre elas a mastite é uma das principais enfermidades de interesse econômico na pecuária leiteira. Essa doença é caracterizadas por causar várias alterações na glândula mamária comprometendo a síntese do leite (RADOSTITS et al., 2006) e as características físico-química do leite (KHAN AND KHAN, 2006).

### 2.3 A mastite

A mastite é a inflamação da glândula mamária (*mast* = mama; *itis* = inflamação) causada por agentes multifatoriais (VIGUIER et al., 2009). A inflamação causada por micro-

organismos é denominada de mastite infecciosa, sendo considerada o tipo mais importante devido ao elevado risco de contágio entre os animais do rebanho (KHAN e KHAN, 2006). Pesquisas têm identificado vários micro-organismos isolados do leite de búfalas com mastite. Porém, os patógenos de maior frequência são os gêneros *Staphylococcus* spp., *Streptococcus* spp., *Corynebacterium* spp., e *Escherichia* spp. (ALI et al., 2011; MEDEIROS et al., 2011; SRINIVASAN et al., 2013; MEDEIROS et al., 2013; PIZAURO et al., 2014; SILVA et al., 2014; MOURA et al., 2017; PATEL et al., 2019; MELO et al., 2022a).

A inflamação do úbere pode ser classificada em dois tipos: mastite clínica ou mastite subclínica. A mastite clínica é caracterizada por sintomas clínicos como edema, vermelhidão, dor na glândula mamária, febre, anorexia, depressão, perda de apetite, alteração na composição do leite, presença de exsudato purulento, fibrinoso ou hemorrágico no leite e redução da produção de leite (SANTOS e ALESSI, 2016). Por outro lado, a mastite subclínica é assintomática, ou seja, não apresenta alterações visíveis no leite ou na glândula mamária (RADOSTITS et al., 2006). Entretanto, a mastite subclínica é de difícil detecção devido à ausência de sinais clínicos visíveis (VIGUER et al., 2009).

Entretanto, a mastite subclínica pode causar alterações histológicas relevantes no parênquima mamário, comprometendo a síntese do leite (RADOSTITS et al., 2006) e sua qualidade devido à elevação da CCS do leite, alterando significativamente a qualidade dos produtos lácteos (KHAN AND KHAN, 2006). Estudos têm mostrado que búfalas são mais susceptíveis à mastite subclínica, podendo a incidência da doença variar de 5,46% a 70,0% nos rebanhos bubalinos (JINGAR et al., 2014; ALI et al., 2014; SILVA et al., 2014; MOURA et al., 2017; ELAHIA et al., 2018; BHUTIA et al., 2019; MELO et al., 2022a).

Com relação à patogenia da mastite, a infecção da glândula mamária inicia-se após a invasão do patógeno pelo canal do teto. Geralmente, o transporte do patógeno até o local da invasão ocorre por várias vias como máquinas de ordenha, mão do ordenhador ou por outros materiais contaminados. A infecção da glândula mamária pode ser dividido em três fases: 1) invasão - ocorre quando o patógeno quebra a barreira anatômica (barreira física) de defesa e penetra no canal do teto; 2) infecção - o patógeno supera as ações antibacterianas da glândula mamária, ocorrendo a multiplicação e infecção do tecido secretor e 3) inflamação - após a resistência das bactérias às defesas celulares e solúveis a infecção é continuada, comprometendo a integridade dos alvéolos, das células epiteliais e da síntese do leite (RADOSTISTS et al., 2006).

Durante as fases iniciais da infecção, as endotoxinas liberadas pelas bactérias provocam lesão tecidual na glândula mamária. A resposta inflamatória aguda, com neutrófilos e suas enzimas de degradação, intensificam a gravidade da lesão, provocando necrose tecidual, edema e hemorragia. Entretanto, caso não ocorra a rápida eliminação do patógeno, a inflamação pode tornar-se persistente e evoluir para uma inflamação crônica, podendo levar a granulação ou fibrose do tecido mamário (ACKERMANN, 2013).

De acordo com a duração da inflamação, a mastite pode apresentar os seguintes graus de inflamação: 1) mastite subaguda - quando a inflamação é leve, porém, ocorre reações sistêmicas como, alterações persistentes na glândula, na produção e composição do leite; 2) mastite aguda - também tem um começo repentino e surgimento de lesões clínicas graves na glândula; 3) mastite hiperaguda - quando tem um começo repentino, com surgimento de inflamação grave com inchaço, calor e dor do quarto mamário afetado, apresenta lesões severas e reação sistêmica acentuada, podendo levar o animal à morte, e 4) mastite crônica – apresenta inflamação persistente com descargas celulares elevadas, mas sem pôr em risco a vida do animal (RADOSTITS et al., 2006; VIGUIER et al., 2009).

Os métodos convencionais de diagnóstico de mastite em búfalas são os mesmos aplicados na espécie bovina. Para a mastite clínica os testes realizados são: exames físico e visual da glândula mamária (SILVA et al., 2014) e teste da caneca de fundo preto, os quais identificam alterações visíveis no úbere e no leite, respectivamente (PIZAURO et al., 2014). Para o diagnóstico da mastite subclínica são aplicados testes indiretos por meio do leite como o CMT (SHARIF et al., 2007; TRIPALDI et al., 2010; ALI et al., 2011; ALI et al., 2014; SILVA et al., 2014; PIZAURO et al., 2014; MELO et al., 2022a), medição da condutividade elétrica (CERÓN-MUÑOZ et al., 2002; PICCININI et al., 2006; MARONI et al., 2006; TRIPALDI et al., 2010; MEDEIROS et al., 2011; PIZAURO et al., 2014; PATIL et al., 2015; SAHIN et al., 2019), CCS (MEDEIROS et al., 2013; SILVA et al., 2014; BHUTIA et al., 2019; PATEL et al., 2019; MELO et al., 2022a) e testes microbiológicos (MEDEIROS et al., 2013; SILVA et al., 2014; BHUTIA et al., 2019; PATEL et al., 2019).

Entretanto, para as execuções desses métodos são necessários procedimentos como contenção do animal para coleta de amostras de leite, envio das amostras biológica para o laboratório de análise, custos com envio e análises laboratoriais (CCS e testes microbiológicos), custos com aquisição de reagentes e mão de obra capaz de interpretação corretamente os resultados (CMT e condutividade elétrica), o que tornasse na maioria das

vezes oneroso e dificultoso como por exemplo em propriedades sem acesso à laboratórios de análises.

O uso de tecnologias e biotecnologias inovadoras contribui para o avanço significativo da pesquisa animal, permitindo o desenvolvimento de produtos, processos e serviços aplicados nas fazendas leiteiras, a chamada “pecuária de precisão” (LEÃO et al., 2015). Portanto, devido aos relevantes impactos econômicos da mastite no gado leiteiro, técnicas eficientes de diagnóstico capazes de identificar o mais rápido possível doenças é cada vez mais necessárias para o controle da mastite em animais de produção. Dentre essas, a TIV têm se mostrado uma técnica promissora no diagnóstico de mastite em várias espécies animais: bovinos (BERRY et al., 2003; COLAK et al., 2008; PORCIANATO et al., 2009; POLAT et al., 2010; DIGIOVANI et al., 2016; CHACUR et al., 2016; GOLZARIAN et al., 2017; BYRNE et al., 2018; ZANINELLI et al., 2018; SATHIYABARATHI et al., 2018), bubalinos (SURIBBI et al., 2022), ovinos (MARTINS et al., 2012; CASTRO-COSTA et al., 2014) e caprinos (MARTINS et al., 2012; SUTHERLAND et al., 2020; PULIDO-RODRÍGUEZ et al., 2021).

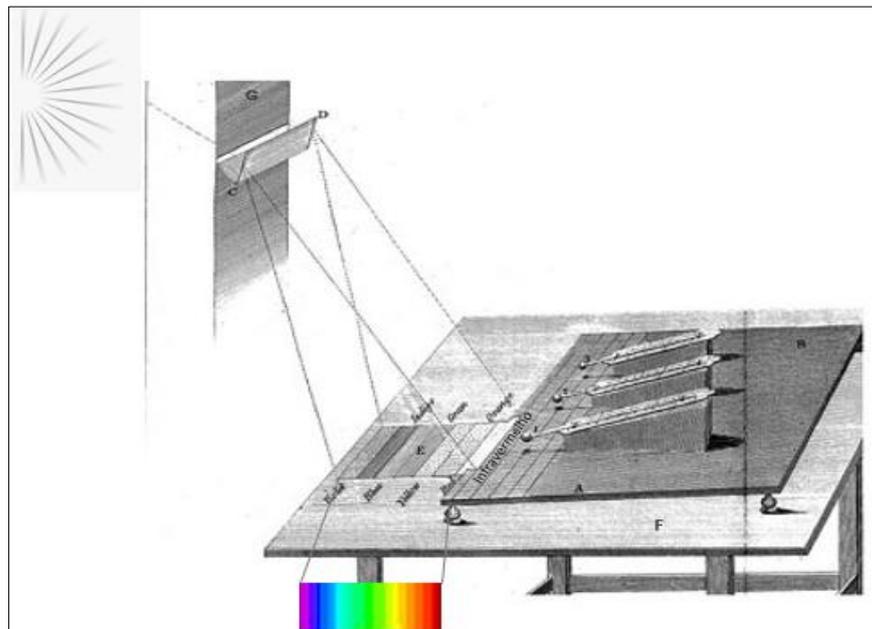
Na mastite, devido à resposta inflamatória, ocorre uma elevação da temperatura superficial da pele do úbere (BERRY et al. 2003), devido ao aumento do fluxo sanguíneo na região afetada. Essa condição fisiológica, permite que a TIV capture essas variações térmicas, identificando possíveis casos de mastite (EDDY et al., 2001; BERRY et al., 2003; MARTINS et al., 2012; LUZI et al., 2013). Em um estudo, Zaninelli et al. (2018a) identificaram que a temperatura da superfície de úberes de vacas com mastite era 1,6°C maior que em úberes saudáveis. Em outro estudo, Sathiyabarthi et al. (2018) também registraram um aumento em 1,5°C na superfície da pele do úbere de vacas leiteiras com mastite subclínica quando comparadas à temperatura da superfície da pele em úbere de vacas sadias. Martins et al. (2012) também registraram maiores temperaturas infravermelha da pele do úbere de ovelhas afetadas pela mastite subclínica, concluindo que a TIV é uma técnica capaz de detectar a mastite na espécie ovina.

Diante do exposto, a TIV pode ser uma ferramenta promissora de detecção de mastite no gado leiteiro, sendo capaz de reduzir os custos de diagnóstico devido à redução de exames laboratoriais, além de contribuir na adaptação e promoção de técnicas éticas e sustentáveis de produção animal.

## 2.4 Princípios da termografia infravermelha

A luz infravermelha foi descoberta pelo astrônomo alemão, naturalizado inglês, Sir William Herschel no ano de 1800 após a realização de vários experimentos, os quais levaram à descoberta da radiação térmica, denominada mais tarde de luz infravermelha ou radiação infravermelha. Os estudos de Sir William Herschel concluíram que o calor radiante era parcialmente ou principalmente composto de luz invisível (RICCA, 2013).

Sir William Herschel utilizou em seu experimento um espectro prismático, a luz do sol, um papel branco e termômetros (Figura 7). Durante as observações do comportamento da luz do sol, Sir Herschel notou que um feixe de calor radiante consiste em raios refratados de forma diferente. A luz ao passar pelo prisma é dispersada nas cores do arco-íris e o alcance de sua extensão começa da luz de cor violeta, as quais são mais refratadas.



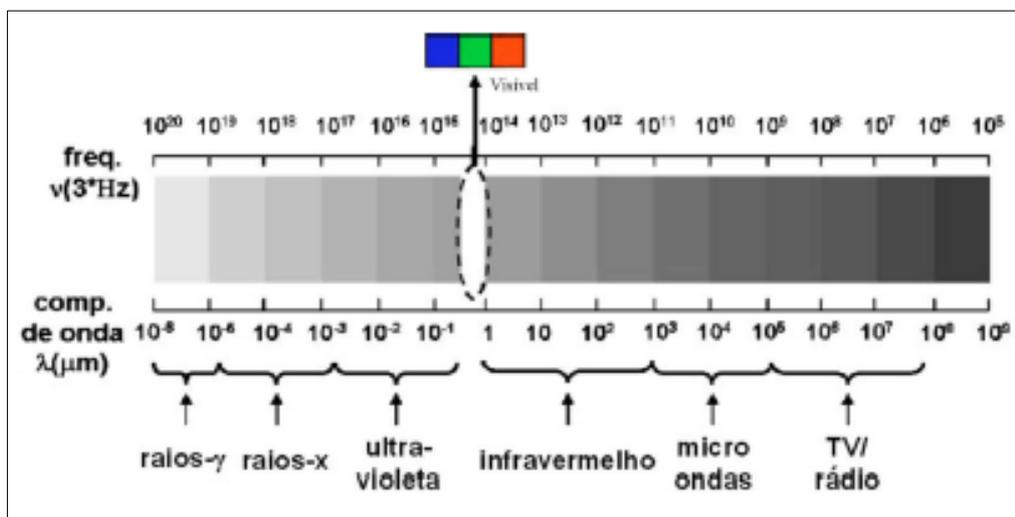
**Figura 7** - Esquema do experimento de Sir William Herschel. **A e B** – suporte; 1, 2 e 3 – termômetros colocados sobre o suporte; **C e D** - prisma colocado na janela para captura da luz solar; **E** - espectro eletromagnético dispersado sobre a mesa de modo a trazer o último quarto de uma polegada da cor de leitura sobre o suporte; **F** – mesa de suporte; **G** – janela para suporte do prisma. Observa-se a região do infravermelho (porção invisível do espectro eletromagnético), após a luz vermelha (porção visível do espectro eletromagnético).

Fonte: OLIVEIRA et al. (2014) – Figura adaptada

Ao traçar esses raios caloríficos em toda a extensão do espectro prismático, Sir Herschel observou que a potência calorimétrica era aumentada em direção à luz de cor vermelha, e que após essa luz, existe uma luz invisível, a “luz infravermelha”, a qual

apresentava elevada fonte de calor, concluindo que naquela região havia alguma radiação, a “radiação infravermelha” (RICCA, 2013).

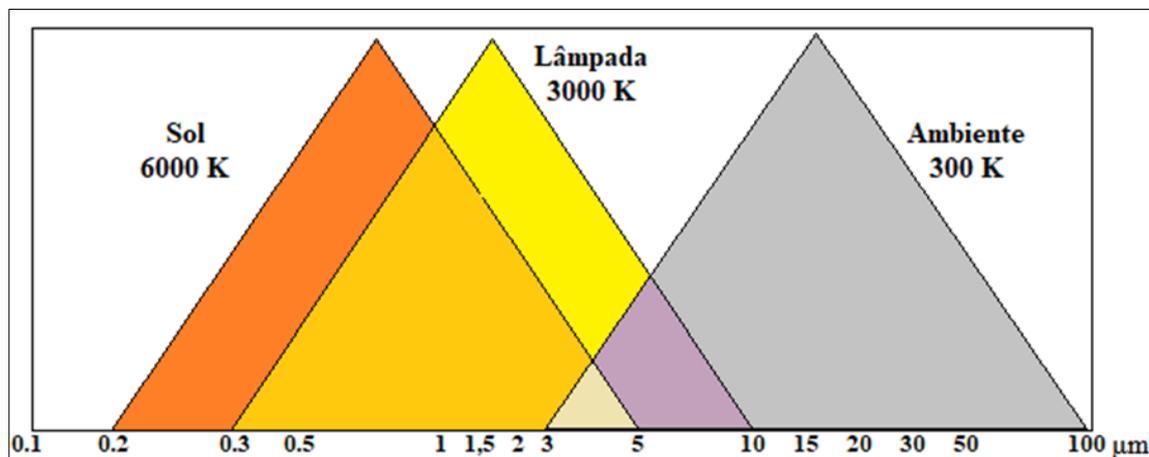
A luz infravermelha faz parte de um conjunto de diferentes comprimentos de ondas que juntas compõem o espectro eletromagnético. O espectro é composto por raio- $\gamma$ , raio-X, luz ultravioleta, luz visível, luz infravermelha, micro-ondas e ondas de rádio (MICHA et al., 2011) (Figura 8). O princípio básico da TIV é que todo corpo físico emite radiação térmica infravermelha do espectro de luz (KUNC et al., 2007). Portanto, TIV é uma técnica capaz de detectar de modo não invasiva o calor superficial de um corpo físico emitido como radiação infravermelha (SATHIYABARATHI et al., 2016). O corpo em temperatura ambiente não emite radiação na região da luz visível, porém na região do infravermelho emite radiação infravermelha, permitindo o mapeamento de sua temperatura (MICHA et al., 2011).



**Figura 8** - Espectro eletromagnético.  
Fonte: MICHA et al. (2011).

A radiação infravermelha tem comprimento de onda entre  $1 \mu\text{m}$  (micrômetros) e  $1000 \mu\text{m}$ . É mais longa que a luz visível e está situada entre a luz visível e as micro-ondas no espectro eletromagnético (MICHA et al., 2011) (Figura 8). Geralmente, a radiação infravermelha é registrada em um espectro com comprimento de onda variando de 2 a  $14 \mu\text{m}$  (POIKALAINEN et al., 2012; HARRAP et al., 2018). As câmeras infravermelhas permitem a visualização de diferenças na temperatura da superfície de qualquer corpo capaz de emitir radiação em duas janelas espectrais as quais variam de 3-5 a 8-14  $\mu\text{m}$  (LUDWING, 2013). Corpos à temperatura ambiente, mais frios (300 Kelvin,  $27^\circ\text{C}$ ) têm pico de emissão de radiação infravermelha correspondente em  $10 \mu\text{m}$  (MICHA et al., 2011; LUDWING, 2013).

Por outro lado, corpos mais quentes, como as lâmpadas de tungstênio (3000 Kelvin) e o sol (6000 Kelvin), têm pico de emissão de radiação infravermelha próximos à  $1 \mu\text{m}$ , (LUDWING, 2013) (Figura 9).



**Figura 9** - Ilustração de três “janelas” e seus respectivos comprimentos de onda do espectro eletromagnético: a primeira janela mostra o espectro visível/próximo do infravermelho; a segunda janela está no infravermelho curto ( $3\text{-}5 \mu\text{m}$ ) e a terceira janela no infravermelho longo ( $8\text{-}14 \mu\text{m}$ ).

K, temperatura em Kelvin;  $\mu\text{m}$ , micrômetros.

Fonte: LUDWING (2013) - Figura adaptada.

O principal parâmetro da termografia é a emissividade ( $\epsilon$ ) do objeto em estudo. A emissividade consiste na capacidade do objeto emitir (HARRAP et al., 2018) e/ou absorver radiação térmica, assim como a capacidade de transformar a energia que incide sobre ele em radiação térmica (CHURCH et al., 2014). Cada região anatômica possui diferença na propriedade de troca térmica e emissividade da pele. De acordo com Mitchell (2013), a pele apresenta um limite de troca térmica de acordo com sua espessura, estrutura, presença de pelagem ou plumagem, os quais interferem na troca de calor entre o animal e o meio externo. Portanto, em estudos com TIV a determinação da temperatura superficial de um corpo tem como condição essencial o seu coeficiente de emissividade ( $\epsilon$ ), ou emissividade espectral (POIKALAINEN et al., 2012; NÄÄS et al., 2014) e as características da região anatômica (MITCHELL, 2013).

De acordo com Redaelli e Gaglio (2013), a diferença na radiação emitida de um corpo real em relação ao corpo negro é indicada pelo coeficiente de emissividade ( $\epsilon$ ), definida como a razão entre a energia ( $W$ ) emitida por um corpo a uma determinada temperatura ( $T$ ) e a energia que um corpo negro emite na mesma temperatura de acordo com a equação (1):

$$\varepsilon = \frac{W(T)}{W_{(\text{corpo negro})}(T)} \quad (1)$$

A radiação infravermelha por um determinado corpo físico é proporcional à temperatura e ao coeficiente de emissividade ( $\varepsilon$ ). Isso está relacionado com o fato de que o fluxo de energia radiante por um corpo negro é proporcional à quarta potência da temperatura conhecido como a lei de Stefan-Boltzmann, a qual é dada pela equação (2):

$$W = \sigma\varepsilon T^4 \quad (2)$$

em que  $\mathbf{W}$  é o fluxo de energia por unidade de área,  $\sigma$  é a constante de Stefan-Boltzmann ( $5,67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-4}$ ),  $\varepsilon$  é o coeficiente de emissividade e  $\mathbf{T}$  é a temperatura elevada à quarta potência (REDAELLI e GAGLIO, 2013).

Os valores de emissividade variam de 0 (espelho brilhante) a 1 (corpo negro), e geralmente a emissividade dependerá do comprimento de onda, cor do objeto e composição da superfície (CRURCH et al., 2014). Superfícies com resíduos e/ou sujas também podem comprometer a acurácia da medição térmica. Os corpos com baixo  $\varepsilon$  apresentam menor capacidade de refletir a temperatura real de sua superfície, sendo maior a possibilidade de refletir temperatura externa como, por exemplo, o sol, lâmpadas ou outra fonte de calor ou frio envolta do objeto em estudo (RICCA, 2013). Esse fato pode levar a dados menos precisos devido à maior probabilidade desse corpo refletir radiação externa. Entretanto, devido às câmeras infravermelhas operam na região do infravermelho de ondas longas (7-14  $\mu\text{m}$ ), a influenciada da luz solar sobre o objeto em estudo é menor quando comparada às ondas mais curtas (BERRY et al., 2001).

Os valores de  $\varepsilon$  da pele dos animais ainda é um assunto contraditório em estudos termográficos. McCafferty (2007) relata que o valor ideal da  $\varepsilon$  é 1,0; entretanto, na prática pode ser utilizado valores entre 0,98 e 1,0, sem comprometer a acurácia da temperatura obtida, uma vez que, geralmente, materiais biológicos apresentam alta emissividade. De acordo com Ludwing (2013), a emissividade tem os mesmos valores para animais e vegetais que podem ser acima de 0,95, sendo possível aplicar  $\varepsilon$  de 0,98. A maioria dos estudos termográficos em animais configura o valor de  $\varepsilon$  para 0,98 (Tabela 5).

**Tabela 5** - Coeficientes de emissividade ( $\epsilon$ ) aplicados em pesquisas em diferentes espécies animais

Fonte	$\epsilon$	Espécie animal
Justino et al., 2014	0,95	Suíno
Alsaod et al., 2014	0,95	Bovino leiteiro
Talukder et al., 2014	0,98	Bovino leiteiro
Silva et al., 2014	0,98	Caprino leiteiro
Metzner et al., 2014	0,96	Bovino leiteiro
Kauppi et al., 2014	0,98	Bovino leiteiro
Do Nascimento et a., 2014	0,97	Frango de corte
Castro-Costa et al., 2014	0,98	Ovino leiteiro
Loyau et al., 2016	0,98	Ave poedeira
Sevegnoni et al., 2016	0,98	Búfalo leiteiro
Salles et al., 2016	0,98	Bovino leiteiro
Daltro et al., 2017	0,98	Bovino leiteira
Moe et al., 2018	0,96	Peru
Schaefer et al., 2018	0,98	Bovino de corte
Ruediger et al., 2018	0,98	Búfalo
Sathiyabarathi et al., 2018	0,98	Bovino leiteiro
Tangorra et al., 2019	0,98	Bovino leiteiro
Candido et al., 2020	0,95	Frango de corte
Sarubbi et al., 2020	0,95	Búfalo leiteiro

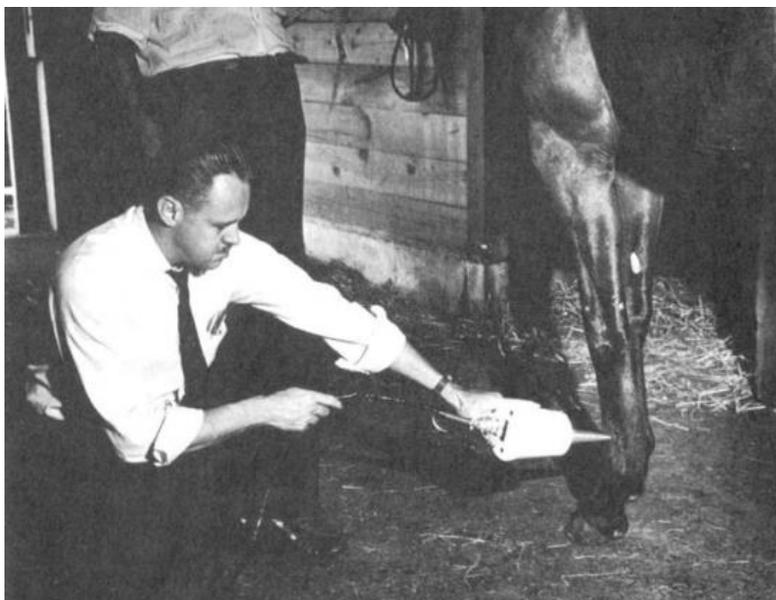
## 2.5 Uso da termografia infravermelha na medicina veterinária

Nos últimos anos muitas técnicas foram criadas com o objetivo de tornar mais fácil os diversos procedimentos no campo da medicina veterinária e da produção animal, visando melhorias à clínica médica e aos setores da produção animal (ROBERTO e SOUZA, 2014). Além disso, a termografia infravermelha, por ser considerada uma técnica não destrutiva por não causar nenhum dano à superfície do paciente avaliado (MARCHES et al., 2013), tem se tornado ferramenta de grande importância para o bem-estar animal e em pesquisas científicas da área (ROBERTO e SOUZA, 2014).

A primeira aplicação da TIV na medicina foi realizada no diagnóstico do câncer de mama em humanos. Entre 1950 e 1960 alguns estudos demonstraram que câmeras infravermelhas podiam visualizar os estágios iniciais do tumor de mama devido à maior

extração de sangue pelas células tumorais, formando um ponto mais quente na imagem registrada pela câmera infravermelha (RICCA, 2013).

O primeiro registro do uso da TIV na medicina veterinária foi em 1963 em equinos. Observando os resultados promissores da TIV no diagnóstico de doenças em humanos, o pesquisador Smith Wendell buscou conhecer as possíveis aplicações da TIV na medicina veterinária. O estudo pioneiro de Smith avaliou-se a capacidade da TIV em detectar a variação térmica de jarretes machucados e com depósito de cálcio nos membros de cavalos (Figura 10). O estudo concluiu que a TIV foi capaz de registrar aumentos da temperatura na superfície do membro lesionado dos cavalos avaliados (SMITH, 1964).



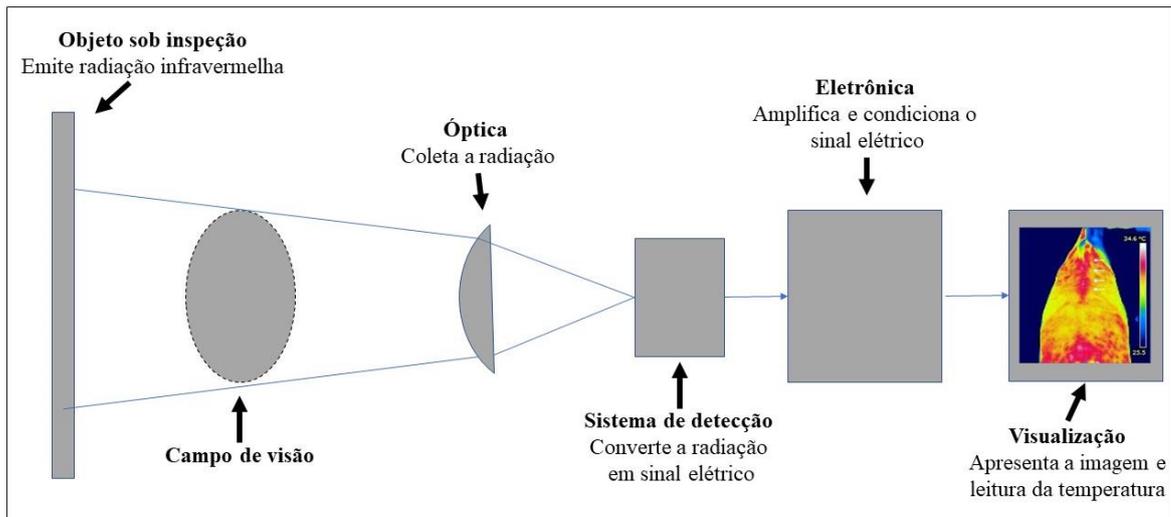
**Figura 10** - Registro do primeiro uso do termômetro infravermelho no diagnóstico de lesões de membros em equinos no ano de 1963.  
Fonte: SMITH (1964).

Durante um processo inflamatório ocorre o aumento do fluxo sanguíneo na região lesionada devido às modificações nos capilares sanguíneos provocadas principalmente pelas interleucinas inflamatórias (IL-1 e IL-6) e fator de necrose tumoral alfa, do inglês *tumor necrosis factor - alpha* (TNF- $\alpha$ ). Essas citocinas desencadeiam o surgimento dos sinais clássicos da inflamação como aumento do volume, edema, calor, rubor, dor e hiperemia no local lesionado (ACKERMANN, 2013). Além disso, essas substâncias estimulam a secreção de prostaglandina, histamina, serotonina e interleucinas, que, por sua vez, desencadeiam a vasodilatação dos capilares mamários, aumentando a temperatura da região (FOX e GAY, 1993).

Devido esses fatores, a temperatura interna do tecido lesionado torna-se mais quente e com isso o organismo busca meios de perder esse calor interno. A perda de calor ocorre através da emissão da radiação infravermelha, envolvendo a transferência de calor do tecido interno (mais quente), onde ocorrem processos exoenergéticos e metabólicos, para o ambiente externo (geralmente mais frio) através da superfície da pele (KUNC et al., 2007; LUDWING et al., 2013). A transferência de calor ocorre devido ao metabolismo tecidual e aumento da circulação sanguínea, como resposta da regulação da temperatura corporal ajustada pelo sistema nervoso e endócrino (MARCHES et al., 2013), provocando a elevação da temperatura superficial da pele (BERRY et al., 2003).

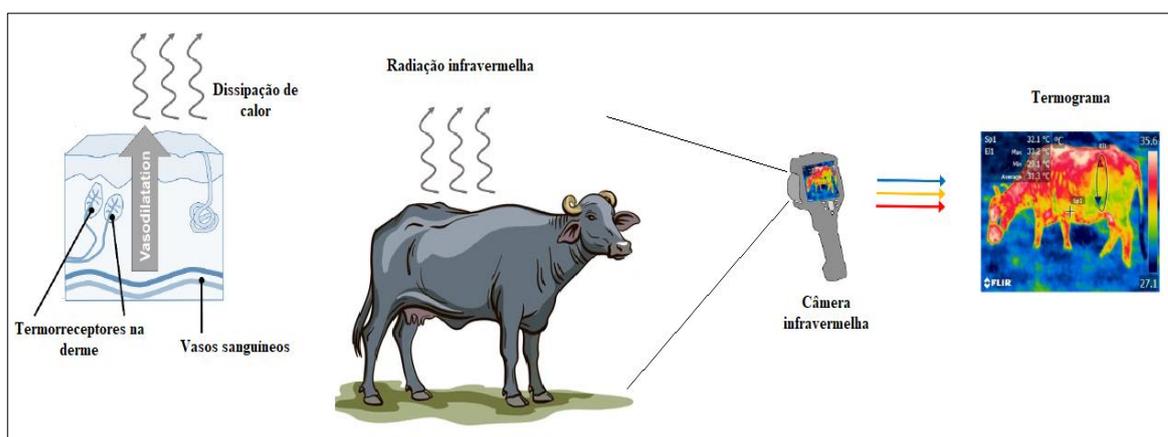
A radiação infravermelha possui fluxos de partículas chamadas de fótons carregados de energia que viajam tanto pelo vácuo quanto pelo espaço (EDDY et al., 2001), a qual não é perceptível ao olho nu (MICHA et al., 2011), sendo percebida pelos animais e humanos apenas como forma de calor. Entretanto, essa condição fisiológica permite que as câmeras infravermelhas capturem essa radiação infravermelha (fótons) emitida em forma de calor, identificando possíveis variações térmicas (EDDY et al., 2001; BERRY et al., 2003; MARTINS et al., 2012; LUZI et al., 2013).

A radiação infravermelha emitida pelo objeto é detectada pela câmera infravermelha e em seguida é convertida em imagem visível (MARINS et al., 2012). A energia emitida pelo objeto em foco, passa pelo sistema óptico do termovisor e é convertida em sinal elétrico no detector. O sinal é então exibido como imagem térmica ou termograma que permite a leitura de temperatura (MARINS et al., 2012) em tempo real (MARCHES et al., 2013) (Figura 11). Cada pixel que compõe a imagem térmica gerada, representa um fóton de energia captada e corresponde a uma temperatura exata do objeto (ROBERTO e SOUZA, 2014).



**Figura 11** - Diagrama simplificado de um termovisor genérico.  
 Fonte: MALDAGUE (2001) – figura adaptada.

A imagem térmica é composta por unidades denominadas pixels. Cada pixel que forma a imagem, corresponde dentro do plano x e y da imagem, uma temperatura precisa (MARINS et al., 2012). Portanto, a câmera infravermelha elabora o termograma através do uso de um complexo conjunto de algoritmos, designados por cores específicas que correspondem a um valor exato da temperatura especificado nas coordenadas x e y (ROBERTO e SOUZA, 2014) (Figura 12).



**Figura 12** - Demonstração da dissipação do calor corporal por meio da radiação infravermelha através da pele e sua captura pela câmera infravermelha e elaboração do termograma com a imagem infravermelha e suas respectivas temperaturas.  
 Fonte: O AUTOR (2023).

As resoluções mais altas resultam em uma imagem mais nítida e melhor informações sobre a distribuição da radiação térmica. Entretanto, qualquer câmera infravermelha pode ser usada para conduzir pesquisas em animais. No entanto, maiores resolução são propriedades

importantes para detecção de melhor sensibilidade e detalhes das imagens (MARCHES et al., 2013). Existem vários modelos de câmeras infravermelhas utilizadas em estudos termográficos em diferentes espécies animais (Tabela 6).

**Tabela 6** - Modelos de câmeras infravermelhas utilizadas em estudos em diferentes espécies de animais de produção

Modelo	Resolução infravermelha (pixels)	Precisão	Espécie animal estudada	Fonte
FLUKE TiS	640 x 480	+/-0.1°C	Bovinos	Poikalainen et al., 2012
FLUKE Ti25	640 x 480	+/-2.0°C	Bovinos	Alsaad et al., 2014
FLIR 760 IR	640 x 480	+/-2.0°C	Bovinos	Metzner et al., 2014
FLUKE Ti50FT IR	320 x 240	-	Caprinos	Alejandro et al., 2014
FLIR A320	-	-	Suínos	Cook et al., 2014
IRI 400	-	+/-0.15°C	Ovinos	Castro-Costa et al., 2014
FLUKE Ti20TM	-	-	Bovinos	Salles et al., 2016
Therma Cam Pro 2.10	-	+/-2.0°C	Galináceos	Loyau et al., 2016
FLIR T300	320 x 240	+/-2.0°C	Bovinos	Cortivo et al., 2016
FLIR System T300	320 x 240	+/-2.0°C	Bovinos	Daltro et al., 2017
FLUKE Ti200	200 x 150	+/-2.0°C	Caprinos	Façanha et al., 2018
FLIR i5	-	-	Bovino	Sathiyabarathi et al., 2018
FLIR Thermovision E40	-	-	Búfalos	Ruediger et al., 2018
FLIR T450SC	320 x 240	+/-0.1°C	Bovinos	Schaefer et al., 2018
Therma GEAR-G120 EX	320 x 240	+/-2.0°C	Bovinos	Zaninelli et al., 2018
FLIR T450SC	320 x 240	+/-2.0°C	Bovinos	Perez Marques et al., 2019
Therma GEAR-G120 EX	320 x 240	+/-2.0°C	Bovinos	Tangorra et al., 2019
Therma CAMB60	2048 x 1536	+/-2.0°C	Galináceos	Candido et al., 2020
Therma Cam S60	640 x 480	-	Ovinos	Sutherland et al., 2020
FLIR i7	640 x 480	+/- 0.1°C	Bubalinos	Sarubbi et al., 2020
Testo 875-2i	640 x 480	+/-2.0°C	Ovinos	Pulido-Rodríguez et al., 2021

## 2.6 Avaliação do desempenho preditivo da termografia infravermelha

Para determinar a capacidade preditiva da TIV em registrar variações térmicas e detectar doenças é necessário determinar a sensibilidade e especificidade do teste, além do valor preditivo positivo e do valor preditivo negativo. Para isso, as temperaturas infravermelhas são combinadas com outros métodos convencionais de avaliação da saúde dos animais (COOK e SCHAEFER, 2013). Várias pesquisas têm determinado a sensibilidade e

especificidade da TIV no diagnóstico de doenças em animais (POLAT et al., 2010; ALSAOD et al., 2014; ZANINELLI et al., 2018a; ZANINELLI et al., 2018b; SATHIYABARATHI et al., 2018; YANG et al., 2018; HARRIS-BRIDGE et al., 2018; TANGORRA et al., 2019). De acordo com essas pesquisas, quanto mais próximo de 100%, melhor é a capacidade de predição do teste.

A sensibilidade do teste consiste em avaliar a capacidade da TIV capturar a temperatura mais provável da região do corpo em estudo (COOK e SCHAEFER, 2013), indicando a frequência com que a situação fisiológica é detectada quando realmente ocorre, ou seja, o valor preditivo positivo é verdadeiro (PEREZ MARQUES et al., 2019). Em outras palavras, a sensibilidade é a capacidade do teste em detectar a mastite subclínica (POLAT et al., 2010). O valor da sensibilidade do teste depende da região anatômica estudada (COOK e SCHAEFER, 2013), e de sua emissividade (POIKALAINEN et al., 2012; NÄÄS et al., 2014; HARRAP et al., 2018).

A especificidade do teste consiste na capacidade de evitar classificar erroneamente os casos saudáveis como casos não saudáveis (POLAT et al., 2010). Os valores de sensibilidade e especificidade do teste é determinado de acordo com as equações (3) e (4), respectivamente:

$$\text{Sensibilidade (\%)} = \frac{VP}{FN + VP} \quad (3)$$

$$\text{Especificidade (\%)} = \frac{VN}{FP + VN} \quad (4)$$

onde, VP - verdadeiro positivo, quando o teste estatístico foi capaz de detectar um caso de úbere saudável avaliando um caso saudável; FP - Falso positivo, quando o teste estatístico detectar um possível caso de mastite avaliando um caso de úbere saudável; VN - Verdadeiro negativo, quando o teste estatístico classificar corretamente um caso de úbere não saudável e FN - falso negativo, quando o teste estatístico não detectar um úbere com mastite (ZANINELLI et al., 2018a).

## **2.7 Perspectiva e viabilidade da termografia infravermelha na pecuária**

Atualmente, é cada vez maior o interesse do produtor por métodos que facilitem o manejo dos rebanhos em fazendas, principalmente por ferramentas práticas e rápida de diagnóstico de doenças. De acordo com Melo et al. (2022b), fatores como doenças e estresse

térmico comprometem a produtividade dos rebanhos e o fornecimento de proteína animal à alimentação humana resultando em perdas econômicas.

Nas últimas décadas a TIV tem sido uma ferramenta promissora para o diagnóstico de algumas doenças e alterações metabólicas em animais de produção (MELO et al., 2022b), entre outros objetivos. A capacidade de diagnóstico não invasivo de detectar o calor superficial de um corpo (SATHIYABARATHI et al., 2016) e sem a necessidade de contato direto com o animal (MCMANUS et al., 2016), tem permitido cada vez mais o uso da TIV na produção animal devido ao crescente interesse da sociedade pelo bem-estar animal. De acordo com Neethirajan et al. (2017), os biossensores além de permitirem o bem-estar animal proporcionam benefícios sociais como saúde, conservação ambiental e econômico. Marins et al. (2012) relataram que outras vantagens da TIV consistem na possibilidade de realizar a inspeção dos animais sem a necessidade de interromper a produção, não causa danos à integridade do equipamento e reutilização do equipamento.

Devido aos relevantes impactos econômicos da mastite no gado leiteiro, técnicas eficientes de diagnóstico capazes de identificar o mais rápido possível a doença é cada vez mais necessárias para o controle da mastite em animais de produção. A capacidade da TIV em detectar variações térmicas sugere a necessidade de analisar a potencial utilidade desta ferramenta em salas de ordenha (MOTA-ROJAS et al., 2020). O monitoramento de animais na sala de ordenha por meio da TIV pode ser obtida usando dispositivos portáteis ou câmeras fixas. As câmeras infravermelhas portáteis permitem uma mobilidade, porém, apresentam limitações quanto a frequência de gravações. Por outro lado, o emprego de câmeras fixas instaladas em lugares estratégicos da sala de ordenha pode avaliar os animais em tempo real por períodos prolongados (SHU et al., 2021). Estes fatores devem ser considerados em futuros estudos termográficos que visam utilizar a TIV no auxílio de diagnóstico precoce de alterações fisiológicas (MOTA-ROJAS et al., 2021).

Pesquisas futuras devem buscar projetos que visem avaliar outros importantes fatores como características dos animais: raça, sexo, idade, espessura da pele; métodos de registros das imagens infravermelhas: distância e ângulo de captura, e fatores ambientais (WANG et al., 2021). Além disso, o tipo de termógrafo utilizado deve levar em consideração a precisão e resolução infravermelha, os quais podem variar de câmera para câmera. O conhecimento desses fatores pode contribuir para melhorar a acurácia, interpretação dos resultados e diagnóstico mais preciso e rápido de doenças e alterações térmicas por meio da radiação infravermelha da pele dos animais leiteiros.

Os custos das câmeras termográficas variam de acordo com a precisão/resolução do termovisor, o qual quanto mais alta maior o seu valor. A maioria das câmeras infravermelhas usadas em pesquisas com animais apresentam resolução de 320 x 240 e 640 x 480 pixels com precisão variando de +/-0.1 a +/-2.0°C (Tabela 6). Vários são os modelos de câmeras termográficas disponíveis no mercado usados em testes convencionais e pesquisas em diferentes espécies animais (Tabela 6).

Alguns modelos de câmeras infravermelhas podem ser adquiridos a partir de R\$ 2.500,00 (80 x 60 pixels), enquanto câmeras infravermelhas com resolução acima de 320 x 240 pixels podem chegar a valores superiores a R\$30.000,00 (FLIR, 2022). Entretanto, esses equipamentos possuem longa durabilidade e resistência ao uso diário. Além disso, por não necessitar de contato direto com os animais, as câmeras não sofrem danos durante as medições das imagens térmicas permitindo seu uso por muitos anos. Portanto, pesquisas que avaliem a viabilidade do uso de câmeras infravermelhas de baixa resolução e baixo custo são importantes para facilitar a aquisição dessa ferramenta por produtores e técnicos.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Local do experimento e informação dos animais

A pesquisa foi realizada em 133 búfalas leiteiras mestiças (Murrah × Jafarabadi) pertencentes a uma fazenda comercial localizada no Estado de Alagoas (Figura 13). O presente estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética de Uso Animal da Universidade Federal de Alagoas (CEUA/UFAL - Nº 26/2019). A fazenda apresenta altitude aproximada de 10 metros, coordenadas geográficas de 9° 10'06''S e 35° 33'40''W e clima tropical chuvoso, de acordo com a classificação de Köppen. O sistema de manejo da fazenda consistia na realização de duas ordenhas diárias (manhã e tarde) em ordenhadeira mecânica do tipo espinha de peixe com balde ao pé. Antes da ordenha as búfalas permaneciam na sala de espera, onde recebiam banho de chuveiro e, posteriormente, antes da entrada na sala de ordenha, eram submetidas ao banho de imersão em tanque de água.



**Figura 13** - Rebanho de búfalas (Murrah × Jafarabadi) usadas no experimento.

Fonte: O AUTOR (2023).

Os animais apresentavam diferentes estágios de lactação e reprodutivo. Para o banco de dados dos animais foram coletas as seguintes informações zootécnicas: identificação, data de nascimento, nome do pai, nome da mãe, identidade do pai, identidade da mãe; estágio reprodutivo dos animais (novilha vazia, novilha prenhe, búfala vazia, búfala prenhe), data do último parto, tipo de cobertura (inseminação artificial em tempo fixo ou monta natural), data de coleta de campo; produção de leite e período de lactação. No presente estudo, os testes preliminares de detecção de mastite clínica por meio da caneca de fundo preto também foram

realizados. Os resultados indicaram que 2,0% das búfalas apresentaram mastite clínica, sendo excluídas do experimento, uma vez que o objetivo do experimento é o diagnóstico de búfalas com mastite subclínica.

Durante o experimento, os animais foram mantidos em sistema semi-intensivo em pastagem de *Brachiaria humidicola* e com oferta de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) triturada no cocho e enriquecida com uréia (10,0g de uréia/kg de cana). Além disso, foram fornecidos suplementação mineral e ração balanceada nas seguintes proporções: búfalas com produção entre 5 e 7,5 L de leite/dia recebem 1,0 kg de ração/dia e com produção entre 8 e 10,5 L de leite/dia de 2 kg de ração/dia. O manejo reprodutivo consiste em inseminação em tempo fixo (IATF).

### 3.2 Dados meteorológicos

As informações meteorológicas de temperatura do ar (TA, °C) e umidade relativa do ar (UR%) foram mensuradas a cada 10 minutos durante a coleta das imagens térmicas, utilizando um termômetro digital modelo Valley GT® instalado a 2,0 metros de altura da sala de ordenha (CHACUR et al., 2017) (Figura 14).

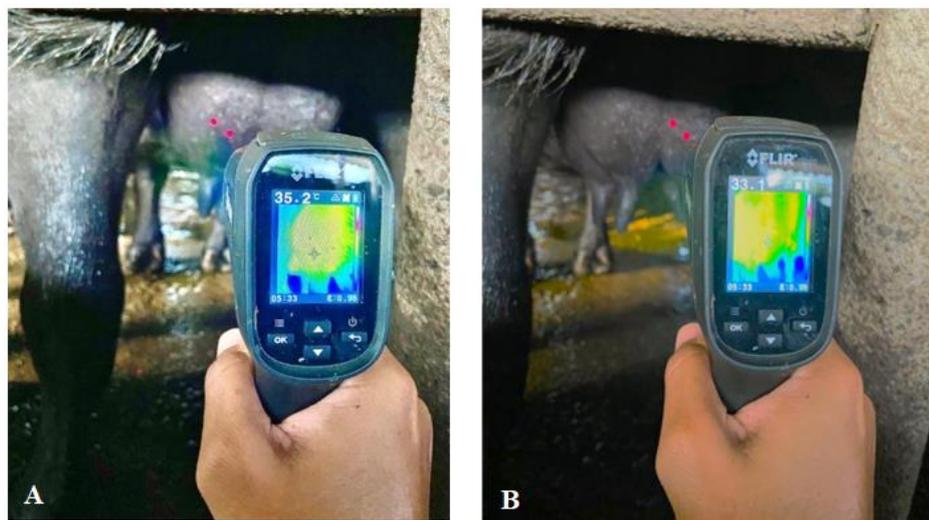


**Figura 14** - Termômetro digital modelo Valley GT® usado nas coletas dos dados meteorológicos.  
Fonte: O AUTOR (2023).

### 3.3 Registros das imagens termográficas

Durante o período experimental todos os registros das imagens termográficas foram realizados pelo mesmo operador. Antes dos registros das imagens, os animais foram

submetidos por período de adaptação de duas semanas, cujo objetivo foi adaptá-los ao manejo, operador e aparelho termográfico como proposto por CHACUR et al. (2018), com adaptações. O experimento foi conduzido entre os anos de 2021 e 2022 com intervalos de 60 dias entre as coletas. As imagens termográficas foram registradas das seguintes regiões anatômica: superfície da pele dos quartos posteriores direitos (QPD) e superfície da pele dos quartos posteriores esquerdos (QPE), totalizando 266 quartos mamários (Figura 15 A e B). As mensurações térmicas foram realizadas nos animais em posição de estação, e quando necessário, a cauda foi retirada da frente do ângulo de captura da câmera (BERRY et al. 2003). A figura 16 mostra o posicionamento dos animais durante os registros.



**Figura 15** - Registro das imagens térmicas da superfície da pele do quarto posterior esquerdo (A) e quarto posterior direito (B).  
Fonte: O AUTOR (2023).

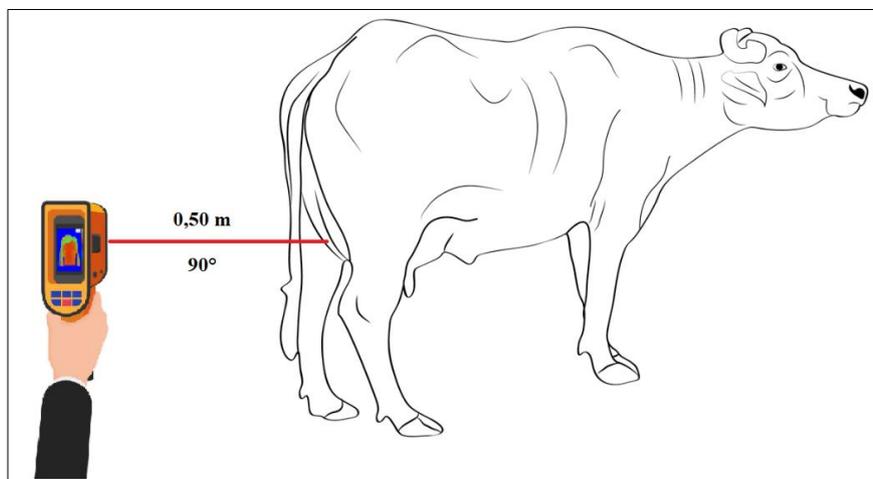


**Figura 16** - Demonstração do posicionamento dos animais em sistema de ordenha em linha de peixe.  
Fonte: O AUTOR (2023).

Para reduzir o estresse dos animais e possível alteração na temperatura superficial da pele do úbere, a captura das temperaturas infravermelhas foi realizada antes dos testes CMT e da coleta das amostras de leite para CCS (CHACUR et al., 2018). Devido ao manejo empregado na fazenda como banho por aspersão e imersão dos animais antes da entrar na sala de ordenha, os registros térmicos foram realizados após aproximadamente 20 minutos da entrada dos animais na sala de ordenha, para que a temperatura da superfície da pele do úbere voltasse à temperatura inicial (temperatura do úbere antes do banho por aspersão e imersão) como proposto por Sathiyabarathi et al. (2018), com adaptações.

As imagens térmicas foram capturadas utilizando uma câmera termográfica modelo FLIR TG 165<sup>®</sup>. Este modelo apresenta resolução infravermelha de  $80 \times 60$  pixels, precisão de  $\pm 2.0^{\circ}\text{C}$  e sensível às mudanças de temperatura de  $0,05^{\circ}\text{C}$ , com variação de temperatura de -20 a  $350^{\circ}\text{C}$  (Figura 15). A câmera termográfica FLIR TG165<sup>®</sup> preenche a lacuna entre um único ponto termômetros infravermelhos e as lendárias câmeras termográficas da FLIR. Equipado com micro sensor térmico Lepton<sup>®</sup> exclusivo da FLIR, o TG165<sup>®</sup>, permite que o calor invisível seja visualizado e registrado com eficácia (FLIR, 2022).

A câmera infravermelha foi calibrada com emissividade de 0,98 ideal para estudo de tecido animal (SEVEGNONI et al., 2016; DALTRO et al., 2017; SCHAEFER et al., 2018; SATHIYABARATHI et al., 2018). As imagens foram capturadas em escala de cor do violeta ao branco, capturadas à uma distância de 0,50 m com ângulo de  $90^{\circ}$  da superfície da pele do úbere (CHACUR et al., 2016), e direcionado para regiões com pouca vascularização, aproximadamente na porção central de cada quarto da glândula mamária como proposto por Berry et al. (2003) e Colak et al. (2008), com adaptações (Figura 17).



**Figura 17** - Esquema do posicionamento, distância, ângulo e direcionamento do laser infravermelho durante os registros das imagens termográficas.  
Fonte: O AUTOR (2023).

### 3.4 Testes de diagnóstico para mastite subclínica

#### 3.4.1 *Californian Mastitis Test*

Para a identificação de búfalas com mastite subclínica, os animais foram examinados por meio do CMT (Figura 18). O teste consiste na adição de 1 mL de leite de cada quarto mamário diretamente em um dos quatro compartimentos da bandeja própria para CMT devidamente identificado. Em seguida foi adicionado 1 mL de reagente específico para CMT no mesmo compartimento. Em seguida realizou-se a mistura do leite com o reagente, realizando movimentos circulares suaves durante 1 minuto, e posteriormente realizou-se a interpretação dos resultados (SCHALM e NOORLANDER, 1957). A interpretação dos resultados foi baseada de acordo com as características de viscosidade do gel formado após a mistura pelo método de Whily et al. (2005), com adaptações, em que: escore 0 = reação negativa, 1(+) = reação fracamente positiva, 2(++) = reação moderadamente positiva e 3(+++) = reação fortemente positiva. Animais com escores 1(+), 2(++), e/ou 3(+++) são classificados como doentes (mastite subclínica).



**Figura 18** - Demonstração dos escores obtidos no teste de CMT de acordo com o método de Whily et al. (2005). 0 = reação negativa, 1(+) = reação fracamente positiva, 2(++) = reação moderadamente positiva e 3(+++) = reação fortemente positiva.  
Fonte: O AUTOR (2023).

### 3.4.2 Contagem de células somáticas

Para a identificação dos animais com mastite subclínica, amostras de 50 mL de leite completo do QPD e QPE de cada búfala foram coletadas para a CCS (PIZAURO et al., 2014), com adaptações. As amostras foram coletadas em frascos estéreis contendo conservante Bronopol® e em seguida encaminhadas à Clínica do Leite – Piracicaba/SP para a realização da contagem das células em aparelho eletrônico Somacount 300 por citometria de fluxo, como recomendado pela International Dairy Federation [IDF] (1995).

## 3.5 Análises estatísticas

### 3.5.1 Análises descritivas e correlações

Em análises preliminares, verificou-se que não houve efeito significativo entre as temperaturas do ar (TA, °C), umidade relativa do ar (UR%) e temperatura infravermelha da superfície do úbere (°C) dos quartos mamários (QPE=133, QPD=133) entre os diferentes meses de coletas pelo teste de comparação de média SNK (*Student-Newman-Keuls*). Também não foi registrado efeito significativo dos quartos mamários (QPE=133, QPD=133) para os indicadores de mastite: CMT ( $P < 0,90$ ) e CCS ( $P < 0,34$ ) e para a temperatura infravermelha ( $P < 0,52$ ). Portanto, os quartos mamários foram avaliados em conjunto, sendo as imagens infravermelhas de ambos os quartos mamários denominadas temperatura infravermelha da superfície do úbere (TIVSU). Foram realizadas análises descritivas e de associação entre as variáveis CCS, CMT e TIVSU por meio da Correlações de Pearson. A significância foi realizada aplicando o teste SNK ( $P < 0,05$ ). As análises estatísticas foram realizadas utilizando o programa estatístico R (versão 4.1.0, 2022).

### 3.5.2 Análises de sensibilidade e especificidade da TIV

Para avaliar a capacidade preditiva da TIV em detectar a mastite subclínica foi realizada uma análise de regressão logística por meio da curva ROC (*Receiver Operating Characteristics*). Os valores de sensibilidade, especificidade, razão de máxima verossimilhança positiva, razão de máxima verossimilhança negativa e acurácia da área ROC (AUC) foram obtidos para a TIVSU de acordo com os resultados dos testes de CMT e CCS (POLAT et al., 2010; ALSAAOD et al., 2014; ZANINELLI et al., 2018a; ZANINELLI et al., 2018b; SATHIYABARATHI et al., 2018; YANG et al., 2018; HARRIS-BRIDGE et al.,

2018; TANGORRA et al., 2019). Para obtenção da curva ROC foi utilizado o software MedCalc (Versão 20.115, MedCalc software, MARIKERKE, BELGIUM, 2022). A sensibilidade e a especificidade da TIV no presente estudo foram calculadas considerando-se dois níveis de CCS e um nível de CMT para classificação dos quartos mamários com mastite subclínica e quartos mamários saudáveis (Tabela 7).

**Tabela 7** - Níveis de classificação dos quartos mamários de búfalas mestiças (Murrah x Jafarabadi) como saudáveis ou com mastite subclínica

Quartos saudáveis	Quartos com mastite subclínica
$CCS \leq 200 \times 1000 \text{ cel./mL}$	$CCS > 200 \times 1000 \text{ cel./mL}$
$CCS \leq 400 \times 1000 \text{ cel./mL}$	$CCS > 400 \times 1000 \text{ cel./mL}$
CMT = 0	CMT = 1

Fonte: O AUTOR (2023).

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Dados meteorológicos

As informações de temperatura do ambiente (TA, °C) e umidade relativa do ar (UR, %) durante as coletas de dados estão apresentadas na Tabela 8. As médias de TA durante os meses de coleta variaram de 22,6°C e 27,0°C, enquanto as médias da UR variaram de 72,0% a 92,0%. As maiores média para TA foram registradas nos meses de maio e junho de 2021. Entretanto, não houve efeito significativo entre as TIVSU, CCS e CMT dos quartos mamários avaliados (QPE=133, QPD=133) nos diferentes meses de experimento.

**Tabela 8** - Estatística descritiva dos dados meteorológico temperatura ambiente (TA, °C) e umidade relativa do ar (UR, %) mensuradas durante os anos de 2021 e 2022

Mês/ano	Maio/2021		Junho/2021		Setembro/2021	
	TA (°C)	UR (%)	TA (°C)	UR (%)	TA (°C)	UR (%)
Média	24,15	78,33	24,35	87,00	23,75	88,66
Min.	22,60	72,00	22,80	85,00	23,00	86,00
Máx.	27,00	90,00	27,00	90,00	25,50	91,00

	Janeiro/2022		Maio/2022		Setembro/2022	
	TA (°C)	UR (%)	TA (°C)	UR (%)	TA (°C)	UR (%)
Média	23,87	89,33	24,3	88,00	24,45	88,52
Min.	23,10	88,00	23,40	85,00	23,60	85,35
Máx.	25,70	92,00	25,60	90,00	25,60	90,00

Não houve efeito significativo entre TA e UR e os diferentes meses de coletas pelo teste de comparação de média SNK ( $P < 0,05$ ).

Fonte: O AUTOR (2023).

### 4.2 Análise descritiva

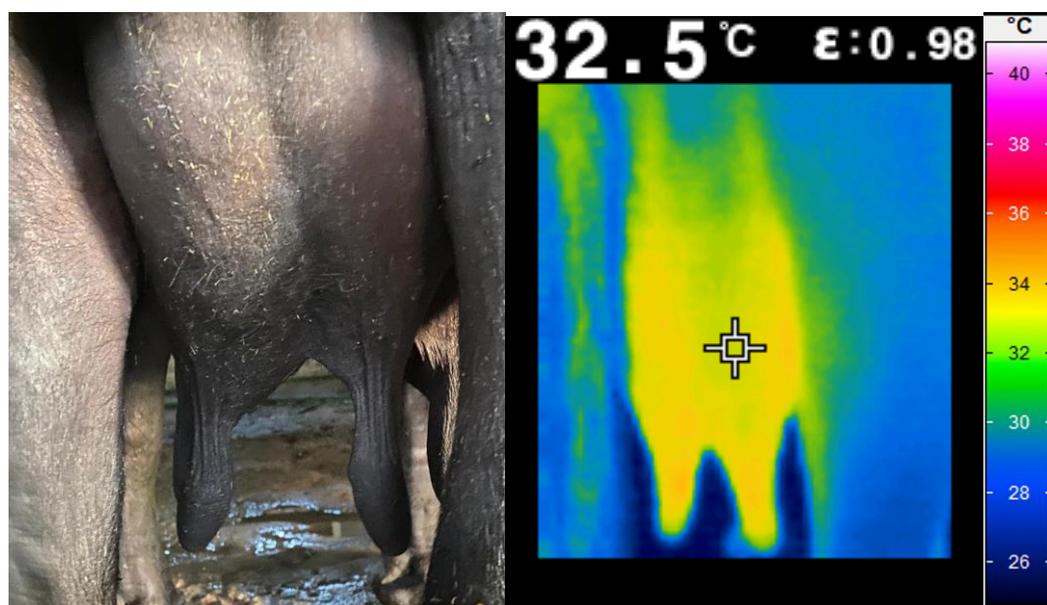
Os resultados mostraram que 38,72% (n =103) dos quartos mamários foram diagnosticados como sadios (CMT=0), enquanto 61,28% (n=163) foram diagnosticados com mastite subclínica (escore CMT = 1+, 2++ e 3+++). Dos quartos mamários doentes (n=163), a maior proporção foi diagnosticada com escore CMT 1+ (38,03%), seguido dos escores 2++ (32,51%) e 3+++ (29,44%) (Tabela 9). As médias de CCS dos quartos mamários de acordo com o escores de CMT foram:  $55,86 \times 10^3$  cel/mL (escore = 0); 509,35 (escore = 1+);  $1032,26 \times 10^3$  cel/mL (escore = 2++) e  $2839,48 \times 10^3$  cel/mL (escore = 3+++). (Tabela 9).

**Tabela 9** - Estatística descritiva da Contagem de células somáticas (CCS  $\times 10^3$  cel/mL) e temperatura infravermelha da superfície do úbere (TIVSU, °C) distribuídos por escore de *Californian Mastitis Test* (CMT)

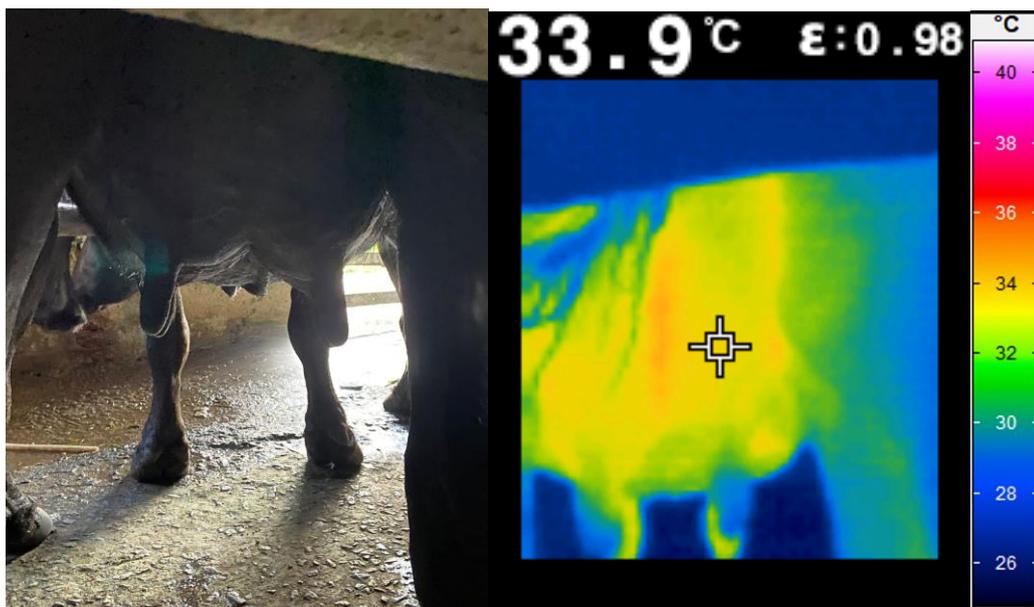
Medidas descritivas	Escore CMT							
	0		1+		2++		3+++	
	CCS	TIRVU	CCS	TIVSU	CCS	TIVSU	CSS	TIVSU
Média	55,86	32,85	509,35	33,52	1032,26	34,32	2839,48	34,83
Desvio Padrão	48,10	1,04	160,50	0,92	420,34	0,41	1952,44	0,51
Min	9,00	30,90	201,00	32,00	520,00	32,60	1019,00	34,00
Máx	136,00	34,80	734,00	35,40	2038,00	35,20	7411,00	35,80
CV (%)	86,10	3,20	31,50	2,76	40,72	1,50	68,76	1,48
Número de quartos	103		62		53		48	

Fonte: O AUTOR (2023).

De acordo com os escores CMT, as médias de TIVSU dos quartos mamários foram 32,85°C (escore = 0), 33,52°C (escore = 1+), 34,32°C (escore = 2++) e 34,83°C (escore = 3+++), variando de 30,90°C a 35,8°C (Tabela 9). As figuras 19 mostra as fotografias, imagens infravermelhas e suas temperaturas infravermelhas do úbere sadio. Enquanto as figuras 20 mostra as fotografias e as imagens infravermelhas com suas respectivas temperaturas infravermelhas da superfície do úbere com mastite subclínica.

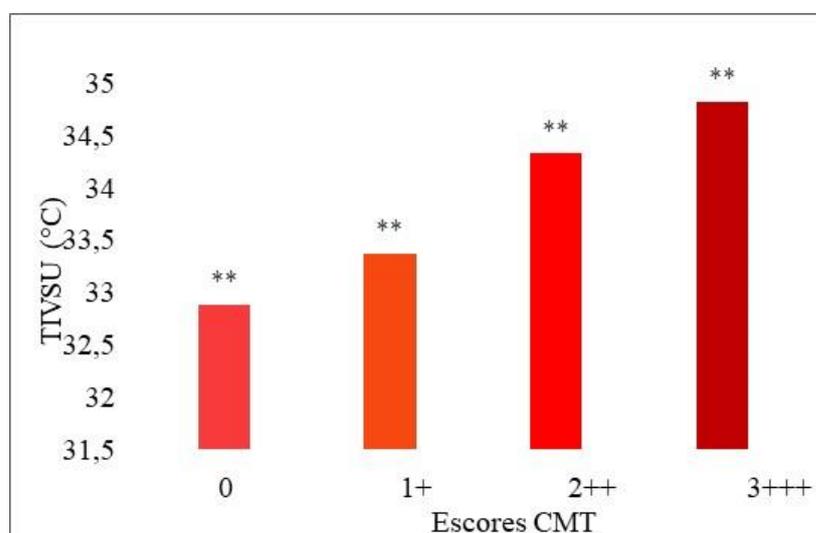


**Figura 19** - Fotografia do úbere sadio (à esquerda); Imagem infravermelha e temperatura infravermelha da superfície do úbere sadio (à direita).  
Fonte: O AUTOR (2023).



**Figura 20** - Fotografia do úbere com mastite subclínica (à esquerda); Imagem infravermelha e temperatura infravermelha da superfície do úbere com mastite subclínica (à direita).  
Fonte: O AUTOR (2023).

As médias de TIVSU diferiram significativamente ( $P = 0,05$ ) entre os escores CMT = 0, 1(+), 2(++) e 3(+++) (Figura 21). O escore 3(+++) apresentou o maior valor médio para TIVSU ( $34,83^{\circ}\text{C}$ ) (Tabela 9). Os resultados mostraram que as variações térmicas entre os quartos mamários saudáveis (escores = 0) e doentes (1+, 2++ e 3+++) foram de  $0,66^{\circ}\text{C}$ ;  $0,47^{\circ}\text{C}$  e  $1,98^{\circ}\text{C}$ , respectivamente. As correlações entre TIVSU e os testes CMT e CCS foram 0,60 e 0,52, respectivamente ( $P < 0,0001$ ). A maior correlação registrada foi entre CCS e CMT (0,74).



**Figura 21** - Médias da temperatura infravermelha da superfície do úbere (TIVSU) de búfalas saudáveis (escore CMT=0) e búfalas com mastite subclínica (escore CMT=1+, 2++ e 3+++). \*\*médias diferiram significativamente pelo teste de SNK ( $P < 0,05$ ).  
Fonte: O AUTOR (2023).

### 4.3 Sensitividade e especificidade da termografia infravermelha na detecção de mastite subclínica

As médias para TIVSU foram de 32,87°C e 34,09°C, considerando-se os quartos mamários sadios com  $CCS \leq 200 \times 10^3$  cel/mL e os quartos mamários com mastite subclínica com  $CCS > 200 \times 10^3$  cel/mL, respectivamente (Tabela 10). Os resultados mostraram uma variação térmica de 1,22°C na média da TIVSU nos quartos mamários com mastite subclínica, comparado aos quartos mamários sadios.

Considerando-se os quartos mamários sadios ( $CCS \leq 400 \times 10^3$  cel/mL) e os quartos mamários com mastite subclínica ( $CCS > 400 \times 10^3$  cel/mL), as médias de TIVSU foram 32,90°C e 34,31°C, respectivamente (Tabela 10). Nessa faixa de classificação, houve uma variação térmica de 1,41°C da TIVSU dos quartos mamários com mastite subclínica quando comparado com os quartos mamários sadios.

**Tabela 10** - Médias, desvio padrão e variação térmica da CCS e TIVSU dos quartos mamários sadios ( $CCS \leq 200 \times 10^3$  cel/mL ou  $CCS \leq 400 \times 10^3$  cel/mL) e com mastite subclínica ( $CCS > 200 \times 10^3$  cel/mL ou  $> 400 \times 10^3$  cel/mL) das búfalas em estudo

Variável	N	CCS ( $\times 10^3$ cel/mL)	TIVSU (°C)
		Média (desvio padrão)	Média (desvio padrão)
$\leq 200$	163	56,59 (47,43)	32,87 (1,03)
$> 200$	103	1350,36 (1533,78)	34,09 (0,93)
			1,22 <sup>1</sup>
$\leq 400$	183	82,00 (87,04)	32,90 (1,01)
$> 400$	83	1606,10 (1607,69)	34,31 (0,81)
Total	266		1,41 <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Variação térmica da TIVSU entre os quartos mamários sadios ( $CCS \leq 200 \times 10^3$  cel/mL ou  $CCS \leq 400 \times 10^3$  cel/mL) e com mastite subclínica ( $CCS > 200 \times 10^3$  cel/mL ou  $> 400 \times 10^3$  cel/mL).

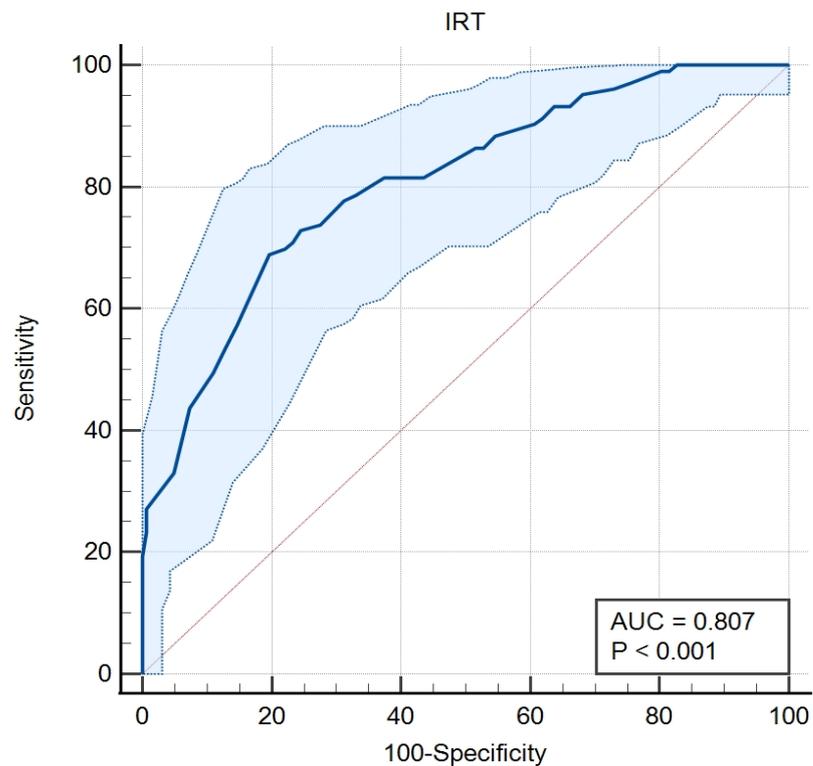
Fonte: O AUTOR (2023).

A sensibilidade, especificidade, razão de máxima verossimilhança positiva e razão de máxima verossimilhança negativa da TIV na detecção de quartos mamários sadios ( $CCS \leq 200 \times 10^3$  cel/mL) e quartos mamários com mastite subclínica ( $CCS > 200 \times 10^3$  cel/mL) foi de 68,93; 80,37; 3,51 e 0,39, respectivamente. A acurácia do teste (AUC) foi de 0,807 (80,70%) com ponto de corte de 33,9°C (Tabela 11, Figuras 22).

A sensibilidade, especificidade, razão de máxima verossimilhança positiva e razão de máxima verossimilhança negativa da TIV em detecção de quartos mamários sadio ( $CCS \leq 400 \times 10^3$  cel/mL) e quartos mamários com mastite subclínica ( $CCS > 400 \times 10^3$  cel/mL)

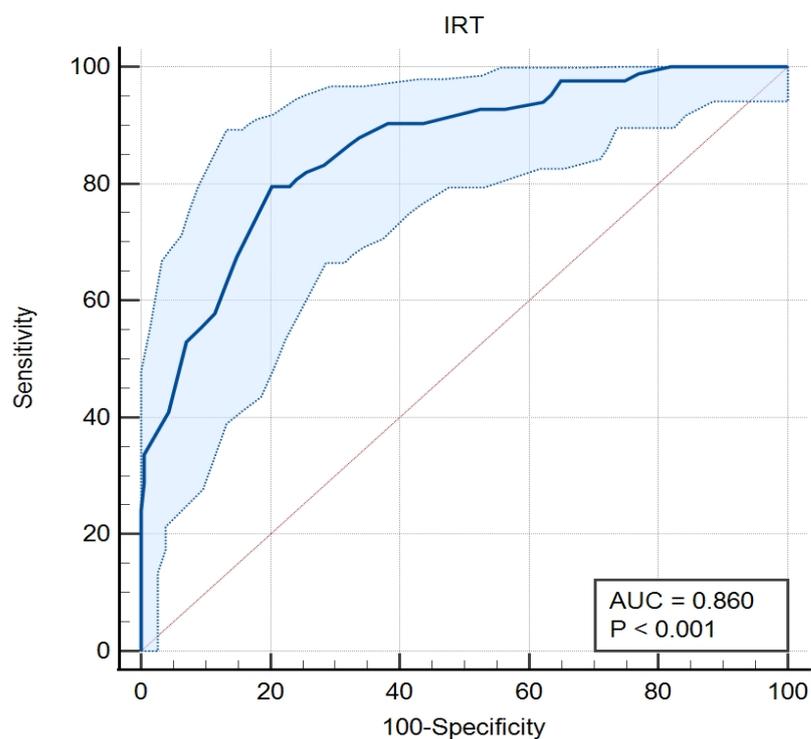
foi de 79,52; 79,78; 39,3 e 0,26, respectivamente. A acurácia do teste (AUC) foi de 0,860 (86,00%) com ponto de corte de 33,9°C (Tabela 11, Figuras 23).

Quando a saúde dos quartos mamários foi classificada por meio do CMT (escore = 0, quartos mamários sadios e escores = 1+, 2++ e 3+++, quartos mamários doentes), a sensibilidade, especificidade, razão de máxima verossimilhança positiva e razão de máxima verossimilhança negativa e AUC da TIV foi 70,75; 75,00; 2,83, 0,39 e 0,791 (79,10%), respectivamente (Tabela 11, Figura 24).

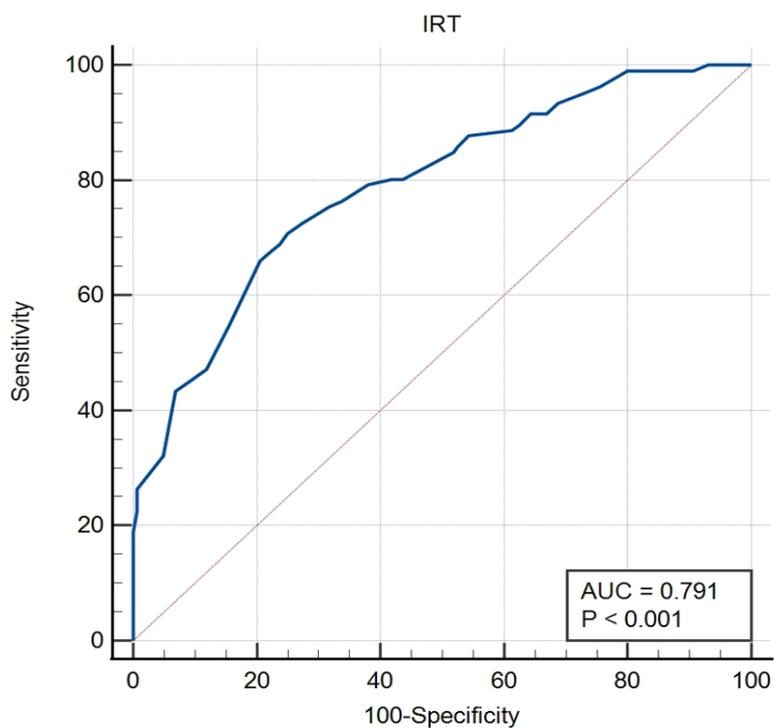


**Figura 22** - Sensibilidade, especificidade e AUC da TIVSU quando os quartos mamários foram categorizados como sadios ( $CCS \leq 200 \times 10^3$  cel/mL, n = 103) e quartos mamários com mastite subclínica ( $CCS > 200 \times 10^3$  cel/mL, n = 163).

Fonte: O AUTOR (2023).



**Figura 23** - Sensibilidade, especificidade e AUC da TIVSU quando os quartos mamários foram categorizados como saudáveis ( $CCS \leq 400 \times 10^3$  cel/mL,  $n = 83$ ) e quartos mamários com mastite subclínica ( $CCS > 400$ ,  $n = 183$ ).  
 Fonte: O AUTOR (2023).



**Figura 24** - Sensibilidade, especificidade e AUC da TIVSU quando os quartos mamários foram categorizados como saudáveis ( $CMT = 0$ ,  $n = 160$ ) e quartos mamários com mastite subclínica ( $CMT = 1$ ,  $n = 106$ ).  
 Fonte: O AUTOR (2023).

**Tabela 11** - Sensibilidade, especificidade, razão de máxima verossimilhança positiva e razão de máxima verossimilhança negativa e acurácia da curva ROC (AUC) da TIV em detectar mastite subclínica nas búfalas baseados em CCS > 200 ×10<sup>3</sup> cel/mL, CCS > 400 ×10<sup>3</sup> cel/mL e escore CMT = 1 (1+, 2++ e 3+++)

CCS, × 10 <sup>3</sup> cel/mL	Ponto de corte (°C)	Sensibilidade (95% <sup>1</sup> IC)	Especificidade (95% IC)	<sup>2</sup> RMV (95% IC)		AUC (95% IC)
				+	-	
>200 (n = 103 vs, 163)	>33,9	68,93 (59,10 – 77,70)	80,37 (73,40 – 86,20)	3,51 (2,51 – 4,92)	0,39 (0,29 – 0,52)	0,807
>400 (n = 83 vs, 183)	>33,9	79,52 (69,20 – 87,60)	79,78 (73,20 – 85,30)	3,93 (2,89- 5,35)	0,26 (0,17 – 0,39)	0,860
CMT = 1 (n= 106 vs, 160)	>33,6	70,75 (61,10 – 79,20)	75,00 (67,60 – 81,50)	2,83 (2,11 – 3,80)	0,39 (0,29 – 0,53)	0,791

<sup>1</sup>IC, índice de confiabilidade (95%).

<sup>2</sup>RMV, razão de máxima verossimilhança.

Fonte: O AUTOR (2023).

## 5 DISCUSSÃO

### 5.1 Análises descritivas

De todos os quartos mamários em estudo 62,28% (n = 163) foram diagnosticados com mastite subclínica detectado pelos testes CMT (Tabela 9). Estudos mostram que as búfalas são mais predispostas à mastite subclínica, cuja incidência pode variar de 5,46% a 70,0% nos rebanhos bubalinos (JINGAR et al., 2014; ALI et al., 2014; SILVA et al., 2014; MOURA et al., 2017; ELAHIA et al., 2018; BHUTIA et al., 2019; MELO et al., 2022a).

A CCS é considerada o padrão-ouro para o diagnóstico direto de mastite subclínica no gado leiteiro. CCS acima de  $50 \times 10^3$  cel/mL está associada à redução da produção de leite e alterações físico-químicas do leite (HAMANN et al., 2005), resultando em perdas econômicas relevantes devido às alterações físico-químicas e bacteriológicas ocorridas no leite (RADOSTITS et al., 2009). O CMT também é considerado teste padrão-ouro de diagnóstico da mastite subclínica no gado leiteiro, porém, é baseado na leitura indireta da CCS do leite (PAMPARIENE et al., 2016).

No presente estudo observou-se aumento na CCS ( $\times 10^3$  cel/mL) no leite das búfalas com mastite subclínica à medida o escore CMT aumentava (escore 0 = 55,86; escore 1+ = 509,35; escore 2++ = 1032,26 e escore 3+++ = 2839,48) (Tabela 9). Resultados semelhantes foram registrados por Polat et al. (2010) ao revelarem que a CCS ( $\times 10^3$  cel/mL) no leite de vacas aumentou significativamente com o aumento do escore CMT em que: escore 0 (65), 1+ (430,00) e 2++ (1236,00) e 3+++ (3650,00). Outros estudos também verificaram maiores valores para CCS no leite de vacas com mastite subclínica quando comparado ao leite de animais sadios (SATHIYABARATHI et al., 2018; ZANINELLI et al., 2018a; ZANINELLI et al., 2018b).

Esse resultado é esperado, e pode ser explicado pelo fato de que quanto maior o escore CMT maior será o grau de inflamação e descamação epitelial da cisterna do úbere e, conseqüentemente, maior o número de células somáticas do leite (RADOSTITS et al., 2009). Além disso, quanto maior o grau de inflamação maior o extravasamento de fluidos dos vasos sanguíneos e de células de defesa para úbere principalmente de neutrófilos, provocado pelo processo infeccioso e resposta imune da glândula mamária, com o objetivo de destruir o mais rápido possível os patógenos invasores, elevando o número de células somáticas no leite (TIZARD, 2014).

A CCS do leite de búfalas é um dos parâmetros mais importante para produção de queijos de qualidade (SALE et al., 2018). Estudos mostram que a CCS elevada afeta significativamente os componentes do leite e dos padrões de fabricação de queijo de búfala como as propriedades coagulantes do leite e o tempo de coagulação do coalho (TRIPALDI et al., 2003; TRIPALDI et al., 2010).

De acordo com o Regulamento de Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal [RIISPOA] (2002); “Entende-se por leite, sem outra especificação, o produto oriundo da ordenha completa, ininterrupta, em condições de higiene, de vacas sadias, bem alimentadas e descansadas”. Por esse motivo, é fundamental a realização de práticas de controle e diagnóstico de mastite no gado leiteiro, de modo a reduzir os riscos de consumo de alimento que possam causar prejuízos à saúde humana.

A indústria de laticínios não utiliza leite de búfala com alta CCS (COBIRKA et al., 2020), principalmente em países desenvolvidos (SAHIN et al., 2011), pelo fato de que  $CCS > 200 \times 10^3$  cel/mL pode ser um indicativo de infecção da glândula mamária (CERÓN-MUÑOZ et al., 2002; PICCININI et al., 2006; MARONI et al., 2006; TRIPALDI et al., 2010; MEDEIROS et al., 2011; PIZAURO et al., 2014; PATIL et al., 2015), representando um potencial risco de contaminação por micro-organismos, toxinas bacterianas (KHAN e KHAN, 2006; RADOSTITS et al., 2006) e resíduos de antibióticos no leite (COBIRKA et al., 2020), comprometendo a segurança alimentar (SHARMA et al., 2011).

As alterações nos componentes do leite comprometem a produção, a qualidade (KHAN e KHAN, 2006; TRIPALDI et al., 2007; TRIPALDI et al., 2011) e o tempo de prateleira dos produtos lácteos (SAHIN et al., 2017). Por estes motivos, a indústria de lácteos italiana preconiza um limite de até  $200 \times 10^3$  cel/mL no leite de búfala para considerar como animal sadio (SOLLECITO et al., 2011), enquanto países da União Europeia e Suíça estabelecem valor de até  $400 \times 10^3$  cel/mL (SAHIN et al., 2011) no leite de búfalas, para que o leite seja processado. De acordo com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento [MAPA] (2008), no Brasil não existe uma padronização para CCS no leite de búfalas, entretanto, a indústria brasileira estabelece limite máximo de  $500 \times 10^3$  cel/mL para o gado leiteiro em geral.

No presente estudo, a TIV foi capaz de registrar diferenças térmicas da superfície da pele do úbere das búfalas de acordo com o escore CMT. As médias de TIVSU dos quartos mamários foram de  $32,85^\circ\text{C}$  (escore = 0),  $33,52^\circ\text{C}$  (escore = 1+),  $34,32^\circ\text{C}$  (escore = 2++) e  $34,83^\circ\text{C}$  (escore = 3+++). A TIV mostrou que a temperatura dos úberes doentes

foi em geral mais alta que a temperatura de úberes saudáveis (Tabela 11), sugerindo que quanto maior o grau de inflamação da glândula mamária, maior a TIVSU das búfalas com mastite subclínica.

A capacidade da TIV de capturar variações térmicas da superficial da glândula mamária, está associada pelo fato que no início da mastite a resposta inflamatória provoca um aumento da temperatura no local da infecção (BERRY et al., 2003; SARUBBI et al., 2020), devido ao aumento do fluxo sanguíneo na região afetada (EDDY et al., 2001; BERRY et al., 2003; MARTINS et al., 2012; LUZING et al., 2013). À medida que a resposta inflamatória é ativada, citocinas vasoativas e pró-inflamatórias como o Fator de necrose tumoral -  $\alpha$  (TNF- $\alpha$ ), interleucina 1 (IL-1) e interleucina 6 (IL-6) são produzidas. Essas citocinas desencadeiam alterações nas células que revestem os pequenos vasos sanguíneos, causando o aumento da permeabilidade vascular e do fluxo sanguíneo para o tecido lesionado (TIZARD, 2014), desencadeando os cinco sinais cardeais da inflamação como rubor (vermelhidão), calor (aumento do calor), tumor (inchaço), dor e perda de função tecidual (SARUBBI et al., 2020). Além disso, a TIV é capaz de identificar alterações que ainda não causaram sinais clínicos em indivíduos aparentemente saudáveis (MARCHES et al., 2013), como no caso da mastite subclínica, sendo portanto um método promissor de diagnóstico precoce da doença.

Vários estudos utilizando a TIV para diagnosticar a mastite em animais leiteiros têm sido reportados na literatura. Scott et al. (2000), induzindo a mastite por meio da introdução de endotoxina bacteriana na glândula mamária, verificaram que a TIV foi capaz de detectar um aumento de 2,30°C na TIVSU de animais doentes mais precoce quando comparado ao teste de CCS. Em outro estudo, Pampariene et al. (2016) relataram que TIV registrou variações entre a termografia infravermelha da superfície da pele dos tetos de vacas saudáveis e de vacas com mastite subclínica, e que o diagnóstico da mastite subclínica foi semelhantes ao registrado pelo CMT. Ainda de acordo com esses autores, a TIV pode detectar a mastite bovina no estágio inicial da inflamação de modo sensível, portátil, rápido e de fácil aplicação para triagem e detecção da doença,

Polat et al. (2010) ao avaliar a capacidade da TIV em detectar a mastite subclínica em vacas, também registraram maiores valores para TIVSU à medida que o grau de CMT aumentou 33,23°C (escore = 0), 34,64°C (escore = 1), 35,73°C (escore = 2), e 36,27°C (escore = 3). Pezeshki et al. (2011) avaliando o potencial da TIV em detectar alterações da TIVSU após a introdução de *Escherichia coli* intra-mamária em vacas, reportaram que a TIV foi capaz de detectar alterações de 2°C a 3°C na TIVSU. Entretanto, os autores

relataram que o aumento da temperatura do úbere ocorreu após o aparecimento de sinais clínicos, indicando que a TIV não foi eficiente para a detecção precoce de mastite causada por *E. coli*. Em outro estudo, Golzarian et al. (2017) observaram uma diferença de 0,44°C na média da temperatura entre úberes saudáveis e úberes doentes de vacas leiteiras, concluindo que a TIV foi capaz de detectar pequenas diferenças na TIVSU.

Usando a TIV, Martins et al. (2012) também registraram maiores TIVSU de ovelhas com mastite subclínica quando comparado a úberes de ovelhas com mastite clínica ou saudáveis, concluindo que a TIV é uma técnica promissora, principalmente, na detecção de mastite subclínica em ovelhas. Ainda de acordo com os autores, a menor temperatura dos úberes com mastite clínica pode estar associada ao processo crônico da doença refletindo uma menor temperatura na região afetada do que em tecidos afetados pela mastite subclínica.

Nogueira et al. (2013) registraram que nos úberes de ovelhas saudáveis a temperatura era 1,24°C mais alta que nos úberes de ovelhas com mastites (1,20°C). De acordo com os autores, esse resultado pode estar associado ao estágio crônico da doença, registrada nos animais em estudo, na qual apresentaram menor temperatura devido ao processo de substituição e recuperação do tecido mamário danificado. Em outro estudo, Castro-Costa et al. (2014) também não obtiveram êxito na detecção da variação térmica entre ovelhas com mastite clínica, mastite subclínica ou saudáveis usando a TIV após a infusão intra-mamária de *Escherichia coli*.

No presente estudo, as correlações entre CCS e TIVU (0,58) e entre TIVSU e CMT (0,60) ( $P < 0,0001$ ) foram significativas e positivas. Este resultado indicou que à medida que o escore CMT aumentou houve um aumento na CCS ( $\times 10^3$  cel/mL) do leite. Comportamento semelhante foi registrado entre CMT e TIVSU em que: à medida que o escore de CMT aumentou a TIVSU também aumentou, sendo a maior variação térmica registrada para o escore CMT 3(+++). Estes resultados indicam que a TIV pode ser promissora na detecção da mastite subclínica de búfalas leiteiras. Estudos avaliando a capacidade da TIV em detectar mastite em búfalas são escassos. Entretanto, Sarubbi et al. (2020), investigando as possibilidades da TIV em detectar possível caso de mastite subclínica em búfalas leiteiras, registraram correlação significativamente e positiva ( $R^2 = 0,640$ ;  $P < 0,001$ ) entre a TIVSU e os diferentes níveis de CCS, sugerindo que a TIV pode ser usada para a detecção precoce de mastite subclínica na espécie bubalina.

Em estudo, Polat et al. (2010) também encontraram correlações positivas entre TIVSU e CCS (0,73) e entre TIVSU e CMT (0,86). Em outro estudo, Colak et al. (2008)

verificaram forte correlação (0,92) entre a TIVSU e escores CMT, indicando que a TIV foi sensível na detecção das alterações da TIVSU em diferentes graus de infecção mamária. Por outro lado, Byrne et al. (2018) encontraram baixa correlação entre TIVSU e CCS, sugerindo que somente a TIV não poderia ser usada como uma ferramenta automatizada para detectar quartos mamários com alta CCS em vacas leiteiras em sistema de pastejo.

No presente estudo, as temperaturas médias da TIVSU registradas foram de 32,87°C (quartos mamários sadios) e 34,09°C (quartos mamários doentes) considerando ponto de corte de  $CCS \leq 200 \times 10^3$  cel/mL e  $CCS > 200 \times 10^3$  cel/mL, respectivamente. A temperatura média dos quartos mamários doentes registrada foi de 1,22°C mais alta que a temperatura dos quartos mamários sadios, enquanto a TIVSU de 34,40°C (quartos mamários sadios) e 36,08°C (quartos mamários doentes) foram registradas considerando-se quartos mamários sadios e quartos mamários doentes com ponto de corte de  $CCS \leq 400 \times 10^3$  cel/mL e  $CCS > 400 \times 10^3$  cel/mL, respectivamente, no qual registrou temperatura média dos quartos mamários doentes de 1,41°C mais alta que a temperatura dos quartos mamários sadios (Tabela 10).

Sarubbi et al. (2020) verificaram que búfalas classificadas como sadias ( $CCS \leq 300 \times 10^3$  cel/mL) e com mastite subclínica ( $CCS > 300 \times 10^3$  cel/mL), apresentaram TIVSU médias de 37,21°C e 39,57°C, respectivamente, indicando que a TIVSU de búfalas com mastite subclínica foi superior a TIVSU de búfalas sadias. Em outro estudo, CHACUR et al. (2018) registraram variações térmicas da superfície do úbere de búfalas em diferentes períodos de desenvolvimento da glândula mamária por meio da TIV.

Em um estudo conduzido por Zaninelli et al. (2018b), médias superiores de TIVSU foram registradas para quartos mamários sadios (34,19°C) e quartos mamários doentes (35,79°C) em vacas leiteiras ao considerar ponto de corte de  $CCS \leq 200$  e  $> 200 \times 10^3$  cel/mL, respectivamente, e que a TIVSU dos quartos mamários doentes era 1,60°C maior que a TIVSU dos quartos mamários sadios. Enquanto ao considerar quartos mamários sadios com  $CCS \leq 400 \times 10^3$  cel/mL e quartos mamários doentes com  $CCS > 400 \times 10^3$  cel/mL, o mesmo estudo revelou um aumento de 1,68°C da TIVSU nos quartos mamários saudáveis (34,40°C) em comparação com quartos mamários afetados (36,08°C).

Digiovani et al. (2016), avaliando a capacidade da TIV como ferramenta de diagnóstico não invasiva de mastite subclínica e sua associação com CMT em vacas leiteiras, registraram diferença significativas entre as temperaturas médias dos quartos mamários sadios (31,00°C) e quartos mamários com mastite subclínica (32,35°C), concluindo que a TIV pode ser uma ferramenta promissora para diagnóstico de mastite em

vacas leiteiras. Em outro estudo, Golzarian et al. (2017), avaliando a viabilidade do uso da TIV no diagnóstico de mastite em gado leiteiro, registraram diferença de 0,44°C na média da TIVSU entre úberes saudáveis e úberes doentes com precisão de detecção de 57,3%.

Sathiyabarthi et al. (2018) registraram resultado semelhante ao avaliar vacas com mastite subclínica em que a média para TIVSU foi de 37,61°C em úberes com mastite subclínica, os quais apresentaram temperatura superficial 1,51°C mais alta que na superfície da pele dos úberes de vacas sadias.

## **5.2 Sensitividade e especificidade da termografia infravermelha na detecção de mastite subclínica**

Para avaliar a eficácia da TIV em detectar doenças é necessário determinar o desempenho do teste. Na maioria das avaliações aplica-se a sensibilidade, especificidade e eficiência do teste (COOK e SCHAEFER, 2013). Para isso, as curvas ROC são empregadas com esse propósito, visando determinar a aplicabilidade de medições ou testes diretos e/ou indiretos para triagem de doenças (POLAT et al., 2010). As temperaturas infravermelhas são combinadas com outros métodos convencionais ou “padrão ouro” de avaliação da saúde dos animais (COOK e SCHAEFER, 2013), que no presente estudo foram avaliados os indicadores CMT e CCS para diagnóstico de mastite.

A precisão das tecnologias de medições térmicas infravermelhas é importante para mensurar as temperaturas irradiadas. O animal homeotérmico ativa todos os mecanismos de termorregulação necessários para manter a temperatura corporal central constante. Para isso, são utilizados outros mecanismos de perda térmica, incluindo energia irradiada na faixa do infravermelho. Assim, quando um animal apresenta-se com uma condição de doença, a temperatura central geralmente será a última a sofrer alteração, porém, ocorrerá mudanças em outros mecanismos de dissipação de calor (SCHAEFER e COOK, 2013).

No presente estudo, ao considerar que búfalas com  $CCS > 200 \times 10^3$  cel/mL foram positivas para mastite subclínica, a sensibilidade, especificidade e AUC registradas foi de 68,93%, 80,37% e 80,70%, respectivamente. Por outro lado, ao considerar búfalas com  $CCS > 400 \times 10^3$  cel/mL, a sensibilidade, especificidade e AUC foram 79,52%, 79,78% e 86,00%, respectivamente. Já ao considerar búfalas com mastite subclínica com CMT = 1, a sensibilidade, especificidade e AUC foram 70,75%, 75,00% e 79,10%, respectivamente (Tabela 10). De acordo com a literatura, esses resultados podem ser considerados satisfatórios, uma vez que quanto mais próximo de 100% melhor a eficiência do teste

(POLAT et al., 2010; ALSAOD et al., 2014; ZANINELLI et al., 2018a; ZANINELLI et al., 2018b; SATHIYABARATHI et al., 2018; YANG et al., 2018; HARRIS-BRIDGE et al., 2018; TANGORRA et al., 2019).

A sensibilidade do teste consiste em avaliar a capacidade da TIV em capturar a temperatura mais provável da região do objeto em estudo (COOK e SCHAEFER, 2013), indicando a frequência com que uma situação fisiológica é detectada quando de fato ocorre (PEREZ MARQUES et al., 2019). A sensibilidade da TIV em detectar estado febril do úbere é provavelmente porque o fluxo sanguíneo está mais próximo da superfície (NG et al., 2004). No caso da mastite, a sensibilidade é a capacidade da TIV em detectar da inflamação do úbere. Por outro lado, a especificidade consiste na capacidade do teste evitar classificar erroneamente casos saudáveis (sadios) como casos não saudáveis (doentes) (POLAT et al., 2010), ou seja, quando animais sadios são classificados como animais doentes. A eficiência do teste, determinado pela área da curva ROC (AUC) pode variar de 0 – 1,0 ou de 0 – 100% a qual determina a acurácia do teste. Quanto mais próxima de 1,0 maior a precisão da TIV em detectar realmente casos saudáveis e casos doentes em que: 0,90 – 1,0 excelente precisão; 0,80 – 0,90 boa; 0,70 – 0,80 regular; 0,60 – 0,70 ruim e 0,50 – 0,60 falha (SATHIYABARATHI et al., 2018). Portanto, no presente estudo, o melhor desempenho preditivo da TIV em detectar mastite subclínica das búfalas em estudo, foi obtida quando aplicado o ponto de corte de  $CCS > 400 \times 10^3$  cel/mL, uma vez que mostrou sensibilidade e especificidade próximas à 80,0% e acurácia do teste de 86,0%.

Maior variação térmica foi registrada por Polat et al. (2010) ao verificarem que TIVSU de vacas mastísticas era 2,30°C mais alta que úberes de vacas saudáveis. Os autores também encontraram maiores valores de sensibilidade (95,6%) e especificidade (93,6%) do teste, considerando úberes com mastite subclínica com  $CCS > 400 \times 10^3$  cel/mL, e sensibilidade (83,5%) e especificidade (100%), considerando úberes com mastite subclínica com  $CCS > 200 \times 10^3$  cel/mL. Enquanto para CMT a sensibilidade, especificidade e acurácia foram de 88,9%, 98,9% e 98,5%, respectivamente, concluindo que a TIV foi suficiente para detectar alterações térmicas na superfície da pele do úbere causadas pela mastite subclínica em vacas leiteiras.

Sathiyabarthi et al. (2018) avaliando a capacidade preditiva da TIV no diagnóstico da mastite subclínica em vacas, registraram sensibilidade variando de 54,07% a 100% e especificidade variando de 69,15% a 100%, respectivamente, concluindo que a TIV foi sensível em detectar alterações térmicas da superfície do úbere associadas à doença e que

pode ser usada como um potencial diagnóstico não invasivo de triagem para detecção de mastite subclínica de vacas leiteiras.

Resultado semelhante ao presente estudo foi registrado por Zaninelli et al. (2018a) em que reportaram uma possível associação entre CCS e saúde do úbere de vacas leiteiras, os quais encontraram valores de sensibilidade, especificidade e acurácia de 73,0%, 71,9% e 80,1%, respectivamente, considerando um nível de CCS de  $200 \times 10^3$  cel/mL. Em outro estudo, Zaninelli et al. (2018a) reportaram sensibilidade e especificidade na classificação de saúde do úbere de 78,6% e 77,9%, respectivamente, considerando um nível de CCS de  $200 \times 10^3$  cel/mL como determinante para mastite subclínica, e sensibilidade e especificidade de 71,4% e 71,6%, respectivamente quando o limite de  $400 \times 10^3$  cel/mL foi aplicado.

Tangorra et al. (2019), avaliando capacidade da TIV de detectar alterações de cor de tetos de vacas leiteiras devido ao estresse provocado por ordenhadeira mecânica, registraram variações de sensibilidade (5,60% a 54,30%) e especificidade (54,40% a 59,20%) para os indicadores de temperatura média infravermelha dos tetos, enquanto para os indicadores de temperatura máxima infravermelha dos tetos a sensibilidade e especificidade variaram de 56,50% a 60,90% e de 59,70% a 61,80%, respectivamente. De acordo com os autores, os baixos valores de sensibilidade e especificidade podem não justificar o desenvolvimento de um termógrafo para o monitoramento do estresse de tetos em vacas provocado por ordenhadeira mecânica. Porém, pode ser aplicado como avaliação preliminar do estresse dos tetos de vacas causado por ordenhadeiras mecânicas.

Devido à ordenha diária do gado leiteiro, é até mesmo ser ordenhado pelo menos duas vezes ao dia, a realização de medições contínuas pode ser feita, além de comparadas com medições anteriores no mesmo animal ou entre os animais do mesmo rebanho. Além disso, a realização de múltiplas medições da temperatura infravermelha do úbere em rebanhos leiteiros pode melhorar o desempenho do diagnóstico da mastite devido ao fornecimento de uma melhor avaliação da resposta termorreguladora frente ao desafio fisiológico e à infecção (COOK e SCHAEFER, 2013). Portanto, a TIV apresenta vantagens como a avaliação em tempo real de um grande número de animais, e que pode ser utilizada por produtores e veterinários como uma ferramenta de vigilância de doenças no rebanho (SCHAEFER et al., 2012), principalmente aquelas associadas às alterações da microcirculação, inflamação e alterações no metabolismo e sistemas de termorregulação, fornecendo uma boa sensibilidade e pode ser usada sem anestesia e sem causar nenhum

estresse aos animais, promovendo forte impacto no bem-estar animal e nas medidas de prevenção de doenças (MARCHES et al., 2013).

No presente estudo a TIV, em ambos os cortes de CCS ( $200 \times 10^3$  cel/mL e  $400 \times 10^3$  cel/mL), foi capaz de registrar variações da TIVSU das búfalas e quanto maior a CCS maior a TIVSU com mastite subclínica (Tabela 10). Esses resultados mostram que a capacidade preditiva da TIV pode variar de acordo com a CCS do leite, onde a sensibilidade aumentou à medida que a CCS aumentou. Por outro lado, a especificidade do teste diminuiu à medida que a CCS aumentou.

Os resultados do presente estudo podem ser considerados satisfatórios como uma ferramenta promissora para o monitoramento de variações térmicas de úberes com mastite subclínica de búfalas leiteiras em fazendas, assim como os resultados defendidos por outros estudos sobre o uso da TIV como uma possível tecnologia de avaliação rápida e não invasiva da saúde do úbere.

## **6 CONCLUSÕES**

A termografia infravermelha foi capaz de detectar alterações na superfície da pele do úbere das búfalas causadas pela mastite subclínica. A relação significativa e positiva entre os indicadores de mastite subclínica (CMT e CCS) e os valores preditivos de sensibilidade, especificidade e eficácia do teste indicaram que essa tecnologia é uma ferramenta promissora e não invasiva para o diagnóstico precoce de mastite subclínica em búfalas leiteiras. Portanto, a TIV pode contribuir para o controle e monitoramento da saúde do úbere de búfalas nas mesmas condições de produção leiteira em estudo.

## REFERÊNCIAS

ACKERMANN, M. R. Inflamação e Cicatrização. In: MCGAVIN, M. D.; ZACHARY, J.; F. **Bases da patologia em veterinária**. 5. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, p. 424-383, 2013.

ALEJANDRO, M. et al. Infrared thermography as a tool to determine teat tissue changes caused by machine milking in Murciano-Granadina goats. **Livestock Science**, v. 160, p.178–185, 2014.

ALI, M. A. et al. Prevalence of sub clinical mastitis in dairy buffaloes of Punjab, Pakistan. **The Journal Animal & Plant Science**, v. 21, n. 3, p. 477-480, 2011.

ALI, T. et al. Effect of management practices and animal age on incidence of mastitis in Nili Ravi buffaloes. **Tropical Animal Health Production**, v. 46, p. 1279-1285, 2014.

ALSAAOD, M. et al. A field trial of infrared thermography as a non-invasive diagnostic tool for early detection of digital dermatitis in dairy cows. **Veterinary Journal**, v. 199, p. 281-285, 2014.

ANDRADE, V. J.; GARCIA, S. K. Padrões raciais e registro de bubalinos. **Revista Brasileira de Reprodução Animal**, Belo Horizonte, v. 29, n. 1, p. 39-45, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CRIADORES DE BÚFALOS - ABCB. O Búfalo. 2016.  
Disponível em: < <http://www.bufalo.com.br> > Acesso em: 14/12/2021.

BERNARDES, O. Bubalinocultura no Brasil: situação e importância econômica. **Revista Brasileira de Reprodução Animal**, v. 31, p. 293-298, 2007.

BERRY, R. J. et al. Daily variation in the udder surface temperature of dairy cows measured by infrared thermography: potential for mastitis detection. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 83, p. 687–693, 2003.

BHUTIA, P. S. et al. Bacterial isolation of milk samples submitted from clinical mastitis buffaloes during 2007 to 2016. **Tropical Animal Health and Production**, 2019.

BORGHESE, A. **Buffalo Production and Research**: Reu technical series. Roma: Food And Agriculture Organization of the United Nations – FAO, v. 67, p.1-315, 2005.

CANDIDO, M. G. L. et al. Effects of heat stress on pullet cloacal and body temperature. **Poultry Science**, v. 99, p. 2469-2477, 2020.

CASTRO-COSTA, A. et al. Thermographic variation of the udder of dairy ewes in early lactation and following an *Escherichia coli* endotoxin intramammary challenge in late lactation. **Journal of Dairy Science**, v. 97, p. 1377–1387, 2014.

CHURCH, J. S. et al. Influence of environmental factors on infrared eye temperature measurements in cattle. **Research in Veterinary Science**, v. 96, p. 220–226, 2014.

COCKRILL, R. W. **The water buffalo**: New prospects for an underutilized animal. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO, p. 288, 1974.

COOK, N. J. et al. Infrared thermography detects febrile and behavioural responses to vaccination of weaned piglets. **Animal**, v. 9, n. 2, p. 339–346, 2014.

COOK, N. J.; SCHAEFER, A. L. Infrared Thermography and Disease Surveillance, In: LUZI, F.; MITCHEL, M.; NANNI COSTA, L.; REDAELLI, V. (Eds.). **Thermography**: current status and advances in livestock animals and in veterinary medicine. 10. ed. Brescia: Fondazione Iniziative Zooprofilattiche e Zootecniche, v. 92, p. 79-92, 2013.

CORTIVO, P. D. et al. Use of thermographic images to detect external parasite load in cattle. **Computer and Electronics in Agriculture**, v. 127, p. 413-417, 2016.

DALTRO, D. S. et al. Infrared thermography as a method for evaluating the heat tolerance in dairy cows. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 46, n. 5, p. 374-383, 2017.

DHANDA, O. P. Buffalo production scenario in Índia: opportunities and challenges. International Seminar: The Artificial Reproductive Biotechnology for Buffaloes. **Indian Council of Agricultural Research**, 2004. Disponível em: < <http://www.peternakan.litbang.pertanian.go.id/fullteks/lokakarya/pbptkbo06-15.pdf> > Acesso em: 20/12/2020.

EDUCABRAS. **Mapa**: Índia, Sri Lanka e Nepal. Disponível em: < <https://www.educabras.com> > Acesso: 23/08/2022.

ELAHIA, E. et al. Domestic water buffaloes: Access to surface water, disease prevalence and associated economic losses. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 154, p. 102–112, 2018.

FAÇANHA, D. A. et al. Detecting estrus in Canindé goats by two infrared thermography methods. **Acta Veterinária Basilica**, v. 12, p. 49-54, 2018.

FALCONER, H. Cat Foss, Vrt; Association. Bengal, p. 230, 1895.

FLIR. Teledyne Flir. Disponível em: < <https://www.flir.com.br> > Acessado em 13/01/2023.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. **Crops and livestock products**, 2020. Disponível em: < <http://www.faostat/en/#data> > Acesso em: 25/07/ 2022.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. **Livestock Primary**, 2020. Disponível em: < <http://www.faostat/en/#data> > Acesso em: 25/06/2022.

FOX, L. K.; GAY, J. M. Contagious Mastitis. *Veterinary Clinic North America. Food Animal Practice*, v. 9, p. 475–487, 1993.

HARRIS-BRIDGE, G. et al. The use of infrared thermography for detecting digital dermatitis in dairy cattle: What is the best measure of temperature and foot location to use?. **Veterinary Journal**, v. 237, p. 26-33, 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo Agropecuário**, 2017. Disponível em: < <https://sidra.ibge.gov.br> > Acesso em: 15/06/2022.

INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE - IUNC. *Bubalus arnee* (búfalo selvagem asiático). Disponível em: < <https://www.iucnredlist.org/species/3129/46364616> > Acesso: 23/08/2022.

JINGAR, S. C. et al. Comparative study on the incidence of mastitis during different parities in cows and buffaloes. **Indian Journal of Animal Research**, v. 48, n. 2, p. 194-197, 2014.

KHAN, M. Z.; KHAN, A. Basic facts of mastitis in dairy animals: a review. **Pakistan Veterinary Journal**, v. 26, n. 4, p. 204-208, 2006.

KNÍŽKOVÁ, I. et al. Applications of infrared thermography in animal production. **Journal of the Faculty of Agriculture**, v. 22, p. 329-336, 2007.

KUNC, R. et al. Infrared thermography as a tool to study the milking process: A review. **Agricultura Tropical e Subtropical**, v. 40, p. 29–32, 2007.

LEÃO, J. M. et al. Uso da termografia infravermelha na pecuária de precisão. **Cadernos Técnicos de Veterinária e Zootecnia**, n. 79, p. 97 – 109, 2015.

LOYAU, T. et al. Heritability of body surface temperature in hens estimated by infrared thermography at normal or hot temperatures and genetic correlations with egg and feather quality. **Animal**, v. 10, p. 1594–1601, 2016.

LUDWING, N. Thermal imaging in biological applications. In: LUZI, F, MITCHELL, M., COSTA, L, N., REDAELLI, V. (Eds.). **Thermography: current status and advances in livestock animals and in veterinary medicine**. 10. ed. Brescia: Fondazione Iniziative Zooprofilattiche e Zootecniche, v. 92, p. 27-40, 2013.

LYDEKKER, R. **Catalogue of the ungulate mammals in the Britis Museum**. Londres, v. 30, n. 3, p. 28-29, 1885.

MALDAGUE, X. Infrared and Thermal testing: Nondestructive testing handbook. MARCHES, S.; MOIOLI, M.; DI GIANCAMILLO, M.; LUZI, F. Veterinary Diagnostic Imaging. In: LUZI, F., MITCHEL, M.; NANNI COSTA, L.; REDAELLI, V. (Eds.). **Thermography: current status and advances in livestock animals and in veterinary medicine**. 3 ed. Brescia: Fondazione Iniziative Zooprofilattiche e Zootecniche, v. 92, p. 127-138, 2013.

MARINS, A. P. O.; MELO, R. A. S.; ANDRETTI, G. F. **Termografia na inspeção preditiva**. Projeto de pesquisa. Universidade Petrobras e IF Fluminense, v. 2, n. 1, p. 95-99, 2012.

MARQUES, J. R. F. et al. **Criação de Búfalo**. Coleção criar. Brasília: Embrapa Amazônia Oriental, p. 11-21, 1998.

MASON, I. L. Species, types and breeds Genetics. In: COCKRILL, R. W. (Ed.). **The Water Buffalo**. Rome: Food and Agriculture Organization of The United Nations - FAO, 1977.

MCCAFFERTY, D. J. The value of infrared thermography for research on mammals: previous applications and future directions. **Mammal Revista**, v. 37, n. 3, p. 207-223, 2007.

MCMANUS, C. et al. **Búfalos no Brasil**. Informação Genético-Sanitária da Pecuária Brasileira. Série técnica: Genética, 2010. Disponível em: < <http://www.animal.unb.br> > Acesso em: 30/04/2021.

MCMANUS, C. et al. Infrared thermography in animal production: A overview. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 123, p. 10–16, 2016.

MEDCALC Statistical Software. Version 20,115. Disponível em: < <https://www.medcalc.org> > Acessado em: 15/08/2022.

MEDEIROS, E. S. et al. Bubaline mastitis etiology in Northeast of Brazil. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 65, p. 1891-1894, 2013.

MEDEIROS, E. S. et al. Perfil da contagem de células somáticas na infecção intramamária em búfalas na Região Nordeste do Brasil. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 31, n. 3, p. 219-223, 2011.

MELO, B. A. **Associação entre produção de leite, duração da lactação, primeiro intervalo de parto e intervalo de parto com a morfometria de búfalas mestiças da raça Murrah por meio de Análise multivariada**. Dissertação de mestrado (Programa de Pós – graduação em Zootecnia/Produção animal) - Universidade Federal de Alagoas, Rio Lago – Alagoas, 2017.

MELO, B. A. et al. Infrared thermography on animal livestock. **Conjecturas**, v. 22, n. 9, p. 1657-5830, 2022b.

MELO, B. A. et al. Perfil da mastite subclínica e frequência de micro-organismos isolados de búfalas mestiças (*Bubalus bubalis*). **Research, Society and Development**, v.11, p. e24911427327, 2022a.

METZNER, M. et al. Infrared thermography of the udder surface of dairy cattle: Characteristics, methods, and correlation with rectal temperature. **The Veterinary Journal**, v. 199, p. 57–62, 2014.

MICHA, D. N. et al. Vendo o invisível. Experimentos de visualização do infravermelho feitos com materiais simples e de baixo custo. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, n. 1, p. 1501, 2011.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA. **Instrução Normativa Nº 76, de 26 de novembro de 2018**. Disponível em: < <https://www.gov.br> > Acesso em: 05/10/2022.

MITCHELL, A. M. Thermal imaging in physiology theoretical and practical considerations. In: LUZI, F., MITCHEL, M., NANNI COSTA, L., REDAELLI, V. (Eds.). **Thermography: current status and advances in livestock animals and in veterinary medicine**. 10. ed. Brescia: Fondazione Iniziative Zooprofilattiche e Zootecniche, v. 92, p. 42-46, 2013.

MOTA-ROJAS, D. et al. Infrared Thermal Imaging Associated with Pain in Laboratory Animals. **Experimental Animal**, 2020.

MOURA, E. O. et al. Evaluation of microbiological, cellular and risk factors associated with subclinical mastitis in female buffaloes. **Asian-Australasian Journal Animal Science**, v. 30, n. 9, p. 1340-1349, 2017.

NÄÄS, I. A.; GARCIA, R. G.; CALDARA, F. R. Infrared thermal image for assessing animal health and welfare. **Journal of Animal Behaviour and Biometeorology**, v. 2, n. 3, p. 66-72, 2014.

NEETHIRAJAN, S. et al. Recent advancement in biosensors technology for animal and livestock health management. **Biosensors and Bioelectronics**, v. 98, p. 398–407, 2017.

NG, E. Y. K.; KAW, G. J. L.; CHANG, W. M. Analysis of IR thermal imager for mass blind fever screening. **Microvascular Research**, v. 68, p. 104 – 109, 2004.

PAMPARIENE, I. et al. Thermography based inflammation monitoring of udder state in dairy cows: sensitivity and diagnostic priorities comparing with routine California mastitis test. **Journal of Vibroengineering**, v. 18, Issue 1, 2016.

PATEL, R. et al. Microbiological profiles in clinical and subclinical cases of mastitis in milking Jafarabadi buffalo. **Research Veterinary Science**, v. 125, p. 94–99, 2019.

PEARY, J. Revisión Buffaloes. **Bulletin India**, v. 9, n. 1, p. 9-17, 1990.

PEREZ MARQUEZ, H, J. et al. Infrared thermography and behavioral biometrics associated with estrus indicators and ovulation in strus-synchronized dairy cows housed in tiestalls. **Journal of Dairy Science**, v. 102, p. 4427–4440, 2019.

PIZAURO, L. J. L. et al. Prevalence and etiology of buffalo mastitis and milk somatic cell count in dry and rainy seasons in a buffalo herd from Analândia. São Paulo State, Brazil. **Arquivos Brasileiros de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 66, n. 6, p. 1703-1710, 2014.

POIKALAINEN, V. et al. Infrared temperature patterns of cow's body as an indicator for health control at precision cattle farming. **Agronomy Research**, v. 10, p. 187–194, 2012.

POLAT, B. et al. Sensitivity and specificity of infrared thermography in detection of subclinical mastitis in dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 93, p. 3525–3532, 2010.

PORCIANATO, M. U. F. et al. Udder thermography of Gyr cows for subclinical mastitis detection. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, Campinas, v. 3, n. 3, p. 251-257, 2009.

PULIDO-RODRÍGUEZ, L. F. et al. Effect of solar radiation on thermoregulatory responses of Santa Inês sheep and their crosses with wool and hair Dorper sheep. **Small Ruminant Research**, v. 202, p. 106470, 2021.

RADOSTITS, O. M. et al. **Veterinary medicine: A text book of the diseases of cattle, sheep, goats, pigs and horses**. 10. ed. New York: Elsevier, 2006.

RAMOS, A. A. Curso de julgamento de bubalinos para leite e carne: exterior, tipo, raça e sistemas de julgamento. In: Encontro nacional de criadores de búfalos, 2008, Monteria, Colômbia.

REDAELLI, V.; CAGLIO, S. Thermal imaging theory. In: LUZI, F.; MITCHEL, M.; NANNI, C. L.; REDAELLI, V. (Eds.). **Thermography: current status and advances in livestock animals and in veterinary medicine**, Brescia: Fondazione Iniziative Zooprofilattiche e Zootecniche, v. 92, p. 41-45, 2013.

REGULAMENTO DE INSPEÇÃO INDUSTRIAL E SANITÁRIA DE PRODUTOS DE ORIGEM ANIMAL - RIISPOA. **Instrução Normativa Nº 51 de 18/09/2002**. Disponível em: <<https://www.defesa.agricultura.sp.gov.br/legislacoes/instrucao-normativa-51-de-18-09-2002,654.html>> Acesso em: 10/10/2022.

RICCA, B. Infrared History and Applications. In: LUZI, F., MITCHEL, M.; NANNI, C. L.; REDAELLI, V. (Eds.). **Thermography: current status and advances in livestock animals and in veterinary medicine**. 10. ed. Brescia: Fondazione Iniziative Zooprofilattiche e Zootecniche, v. 92, p. 3-60, 2013.

ROBERTO, J. V. B.; SOUZA, B. B. Utilização da termografia de infravermelho na medicina veterinária e na produção animal. **Journal of Anim Behavior Biometeorology**, v. 2, n. 3, p. 73-84, 2014.

RSTUDIO TEAM software. Version 3,4,6. Disponível em: < <https://cran.r-project.org> > Acesso em: 20/08/2021.

RUEDIGER, F. R. et al. Effect of estrous cycle phase on vulvar, orbital area and muzzle surface temperatures as determined using digital infrared thermography in buffalo. **Animal Reproduction Science**, v. 197, p. 154-161, 2018.

SALLES, M. S. V. et al. Mapping the body surface temperature of cattle by infrared thermography. **Journal of Thermal Biology**, v. 6, p. 63-69, 2016.

SANTOS, R. L.; DO NASCIMENTO, E. F.; EDWARD, J. F. Sistema reprodutor feminino. In: SANTOS, R. L.; ALESSI, A. C. **Patologia veterinária**. Rio de Janeiro: Elsevier, p. 1206-1302, 2016.

SARUBBI, F. et al. Potential Application of Infrared Thermography (IRT) in Mediterranean Lactating Buffalo. **Asian Basic and Applied Research Journal**, v. 2, n. 2, p. 11-16, 2020.

SATHIYABARATHI, M. et al. Infrared thermal imaging of udder skin surface temperature variations to monitor udder health status in Bos indicus (Deoni) cows. **Infrared Physics & Technology**, v. 88, p. 239–244, 2018.

SATHIYABARATHI, M. et al. Infrared thermography: A potential noninvasive tool to monitor udder health status in dairy cows. **Veterinary World**, v. 9, p. 1075–1081, 2016.

SCHAEFER, A. L. et al. Energy utilization in cattle with steady state and non-steady state methods: the importance of thermal neutrality. **Heliyon**, v. 4, p. e00843, 2018.

SCHAEFER, A. L. et al. The non-invasive and automated detection of bovine respiratory disease onset in receiver calves using infrared thermography. **Research in Veterinary Science**, v. 93, p. 928-935, 2012.

SCHAEFER, A. L.; COOK, N. J. Heat Generation and the Role of Infrared Thermography in Pathological Conditions. In: LUZI, F.; MITCHEL, M.; NANNI, C. L.; REDAELLI, V. (Eds.).

**Thermography**: current status and advances in livestock animals and in veterinary medicine. 10. ed. Brescia: Fondazione Iniziative Zooprofilattiche e Zootecniche, v. 92, p. 69-78, 2013.

SCHAEFER, A. L.; COOK, N. J. Heat Generation and the Role of Infrared Thermography in Pathological Conditions. In: LUZI, F.; MITCHELL, M.; COSTA, L, N.; REDAELLI, V. (Eds.) **Thermography**: current status and advances in livestock animals and in veterinary medicine. 10. ed. Brescia: Fondazione Iniziative Zooprofilattiche e Zootecniche, v. 92, p. 69-78, 2013.

SHU, H. et al. Recent Advances on Early Detection of Heat Strain in Dairy Cows Using Animal-Based Indicators: A Review. **Animals**, v. 11, n. 980, 2021.

SILVA, N. D. S. et al. Ocorrência de mastite em Búfalas (*Bubalus bubalis*) Criadas em sistema extensivo no Estado do Pará, Brasil. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 2, p. 839-846, 2014.

SMITH, W. M. Applications of thermography in veterinary medicine. **Annals New York Academy of Sciences**, v. 121, n. 9, p. 248–254, 1964.

SRINIVASAN, P. et al. Prevalence and etiology of subclinical mastitis among buffaloes (*Bubalus bubalis*) in Namakkal, India. **Pakistan Journal of Biological Science**, v. 16, n. 23, p. 1776-1780, 2013.

SUTHERLAND, M. A. et al. Evaluation of infrared thermography as a noninvasive method of measuring the autonomic nervous response in sheep. **PLoS ONE**, v. 15, n. 5, p. e0233558.

TANGORRA, F. M. et al. The use of infrared thermography for the monitoring of udder teat stress caused by milking machines. **Animals**, v. 9, p. 384, 2019.

TIZARD, I. R. **Imunologia veterinária**. 9. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

VIGUIER, C. et al. Mastitis detection: current trends and future perspectives. **Trends Biotechnol**, v. 27, p. 486-493, 2009.

WANG, F. K. et al. Non-Invasive Cattle Body Temperature Measurement Using Infrared Thermography and Auxiliary Sensors. **Sensors**, v. 21, p. 2425, 2021.

YANG, C.; LI, G.; ZHANG, X.; GU, X. Udder skin surface temperature variation pre- and post-milking in dairy cows as determined by infrared thermography. **Journal of Dairy Research**, v. 85, p. 201–203, 2018.

ZANINELLI, M. et al. Development of a software algorithm working with infrared images and useful for the early detection of mastitis in dairy cows. In: **14° Quantitative InfraRed Thermography Conference**, 25 – 29 de junho de 2018. Berlin, Germany, p. 1 – 6, 2018b.

ZANINELLI, M. et al. First evaluation of infrared thermography as a tool for the monitoring of udder health status in farms of dairy cows. **Sensors**, v. 18, p. 862, 2018a.



DOI: 10.53660/CONJ-1400-AG15

## **Infrared thermography on animal livestock**

### **Termografia infravermelha na pecuária**

Breno Araújo de Melo<sup>1\*</sup>, Sybelle Georgia Mesquita da Silva<sup>1</sup>, Micheline Thaís dos Santos<sup>2</sup>, Paula Cibelly Vilela da Silva<sup>1</sup>, Angelina Bossi Fraga<sup>1</sup>

---

#### **ABSTRACT**

Infrared thermography has become increasingly promising in veterinary medicine, for being a non-invasive method for detecting body thermal variation. The objective of this review was to elucidate some applications of infrared thermography and its importance on animal livestock. This tool can substitute conventional techniques for diagnosing diseases, inflammation and fever. The body temperature is an important indicator to diagnostics and to understanding physiological aspects due to the close relation between abnormal temperatures and inflammatory processes. Also, it can help monitor reproductive performance and identify more efficient animals, among other purposes. The measurement of infrared temperature allows identifying sick animals, before the appearance of clinical symptoms, making treatment and isolation faster and more accurate, enhancing the profitability and sustainability of the system. However, this tool has some limitations, such as the animal species and environmental factors. Thus, further studies are needed for the application of the thermographic on animal livestock.

**Keywords:** Thermographic image; infrared radiation; surface temperature; disease diagnosis; body temperature.

---

#### **RESUMO**

A termografia infravermelha tem se tornado cada vez mais promissora na medicina veterinária, por ser um método não invasivo para detectar a variação térmica corporal. O objetivo desta revisão foi elucidar algumas aplicações da termografia infravermelha e sua importância na pecuária. Essa ferramenta pode substituir as técnicas convencionais de diagnóstico de doenças, inflamação e febre. A temperatura corporal é um importante indicador para diagnóstico e compreensão de aspectos fisiológicos devido à estreita relação entre temperaturas anormais e processos inflamatórios. Além disso, pode ajudar a monitorar o desempenho reprodutivo e identificar animais mais eficientes, entre outras finalidades. A medição da temperatura infravermelha permite identificar os animais doentes, antes do aparecimento dos sintomas clínicos, tornando o tratamento e o isolamento mais rápidos e precisos, potencializando a rentabilidade e sustentabilidade do sistema. No entanto, a termografia infravermelha apresenta algumas limitações, como a espécie animal e fatores ambientais. Sendo assim, futuros estudos são necessários para a aplicação da termografia na produção animal.

**Palavras-chave:** Imagem termográfica; radiação infravermelha; temperatura superficial; diagnóstico de doença; temperatura corporal.

---

<sup>1</sup> Northeast Network of Biotechnology

<sup>2</sup> Rural Federal University of Pernambuco

\*E-mail address: breno\_melo13@hotmail.com

## INTRODUÇÃO

Infrared light was discovered by the German astronomer, naturalized English, Sir William Herschel in the year 1800 after carrying out several experiments, which led to the discovery of thermal radiation, later called infrared light or infrared radiation (Ricca, 2013). Infrared thermography (IRT) is a non-invasive tool that allows the remote measurement of the surface temperature of an animal (Castells et al., 2019), emitted as thermal radiation (Sathiyabarathi et al., 2016; Lowe et al., 2019).

The principle of IRT is that every object with a temperature above absolute zero emits thermal radiation to the environment, in all wave lengths of the infrared spectrum (Poikalainen et al., 2012). The radiation is captured and recorded by a thermal imaging camera that creates a color thermal image, and each color corresponds to a specific temperature (Redaelli and Caglio, 2013). The thermographic image presents a color scale that varies from cold (green and blue) to hot (yellow, orange, red and white) (Castells et al., 2019). Currently, there are several thermal camera models used in animal studies, Table 1. IRT can identify metabolic changes through of the temperature variations in body surface, due to the blood flow variations and tissue metabolic rate (Eddy et al., 2001; Berry et al., al., 2003; Martins et al., 2013; Ludwing et al., 2013).

The IRT can be applied in all animal classes and species, however, anatomical, morphological, metabolic, and physiological differences must be considered (Mitchell, 2013). The use of IRT in large animals and large herds has become a useful tool in the preventive diagnosis of several metabolic changes, due to its ability to detect heat variations on the body surface caused by inflammatory processes (Ludwig, 2013). Moreover, IRT makes it easier to monitor herd health because it does not require direct contact with animals (McManus et al., 2016). Also, it allows the adaptation of ethical and sustainable management methods that can be applied in farms, monitoring the herds without stress for the animals. Therefore, IRT can improve the productivity and profitability of different production systems (Neethirajan et al., 2017).

Diseases and heat stress are limiting factors that compromise the productivity of herds and the supply of animal protein to human food, resulting in economic losses. Disease detection is often expensive and time-consuming (Neethirajan et al., 2017), demanding skilled labor. Body temperature is an important indicator for diagnosing diseases and understanding physiological parameters in animals (Poikalainen et al., 2012; Nääs et al., 2014). Each region of the animal body has a different temperature due to physiological variations, which can help the clinical assessment of these areas (Deak et al., 2019).

The application of IRT in livestock production has been studied for several species such as beef cattle (Montanholi et al., 2009; LokeshBobu et al., 2018; Lowe et al., 2019; Vicentini et al., 2020), dairy cows (Chacur et al., 2016; Daltro et al., 2017; Schaefer et al., 2018; Sathiyabarathi et

al., 2018; Tangorra et al., 2019; Deak et al., 2019), laying hen (Loyau et al., 2016), buffaloes (Barros et al., 2016; Sevegnani et al., 2016; Ahirwar et al., 2017; Ahirwar et al., 2018; Chacur et al., 2018), dairy sheep (Martins et al., 2013; Castro-Costa et al., 2014; Cannas et al., 2018; Byrne et al., 2019; Castells et al., 2019; Sutherland et al., 2020; Pulido-Rodríguez et al., 2021), dairy goats (Silva et al., 2014; Façanha et al., 2018), Broiler chickens (Nascimento et a., 2014; Candido et al., 2020), turkey (Moe et al., 2018) and pigs (Justino et al., 2014; Boileau et al., 2019), Table 2.

Therefore, the objective of this review is to present some applications of infrared thermography and its importance for animal production. We searched for papers in high-impact scientific journals that addressed the use of IRT in diseases diagnosis, inflammatory processes, reproductive monitoring, semen quality, animal efficiency, animals' adaptation, aid to selection, heat stress, and animal welfare.

The search for papers was carried out with the internet search tool in databases: Science Direct (<https://www.sciencedirect.com>), PubMed Central (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>); Scielo (<http://www.scielo.org>) and CAPES (<https://www.capes.gov.br>), using the keywords: infrared thermography, disease diagnosis, dairy farming, livestock.

**Table 1** - Thermal camera models used in farm animals

<b>Model</b>	<b>Infrared resolution (pixels)</b>	<b>Thermal accuracy</b>	<b>Animal</b>	<b>Source</b>
FLUKE Ti25	640 x 480	+/-2.0°C	Dairy cattle	Berry et al., 2003
Therma Cam P26 IRI 4010	-	-	Dairy cattle	Colak et al., 2008
FLEX Cam S	-	+/-2.0°C	Dairy cattle	Polat et al., 2010
FLIR System série-i	-	-	Dairy sheep	Martins et al., 2012
FLUKE TiS	640 x 480	+/-0.1°C	Cattle	Poikalainen et al., 2012
FLUKE Ti25	640 x 480	+/-2.0°C	Dairy cows	Assoad et al., 2014
FLIR 760 IR	640 x 480	+/-2.0°C	Dairy cattle	Metzner et al., 2014
FLIR T620	-	-	Dairy cows	Talukder et al., 2014
FLUKE Ti50FT IR flexcam	320 x 240	-	Goats	Alejandro et al., 2014
FLIR A320	-	-	Piglets	Cook et al., 2014
IRI 400	-	+/-0.15°C	Dairy ewes	Castro-Costa et al., 2014
FLUKE Ti20TM	-	-	Cattle	Salles et al., 2016
Therma Cam Pro 2.10	-	+/-2.0°C	laying hens	Loyau et al., 2016
FLIR T300	320 x 240	+/-2.0°C	Cattle	Cortivo et al., 2016
FLIR System T300	320 x 240	+/-2.0°C	Dairy cattle	Daltro et al., 2017
FLUKE Ti200	200 x 150	+/-2.0°C	Goats	Façanha et al., 2018
FLIR i5	-	-	Dairy cattle	Sathiyabarathi et al., 2018
FLIR Thermovision E40	-	-	Buffalo	Ruediger et al., 2018
FLIR T450SC	320 x 240	+/-0.1°C	Beef cattle	Schaefer et al., 2018
Therma GEAR-G120 EX	320 x 240	+/-2.0°C	Dairy cows	Zaninelli et al., 2018
FLIR T450SC	320 x 240	+/-2.0°C	Dairy cows	Perez Marques et al., 2019
Therma GEAR-G120 EX	320 x 240	+/-2.0°C	Dairy cattle	Tangorra et al., 2019
Therma CAMB60	2048 x 1536	+/-2.0°C	Broiler chickens	Candido et al., 2020
Therma Cam S60	640 x 480	-	Sheep	Sutherland et al., 2020
Testo 875-2i	640 x 480	+/-2.0°C	Sheep	Pulido-Rodríguez et al., 2021

**Table 2 - Applications of the IRT in different goals on livestock animals**

<b>Study objective</b>	<b>Animal species</b>	<b>Animal region</b>	<b>Focus distance</b>	<b>Source</b>
Food efficiency	Cattle	Eye, ribs, leg	1.5 m	Montanholi et al., 2009
Mastitis	Sheep	Udder	1.5 m	Martins et al., 2012
Mastitis	Sheep	Udder	0.5 m	Castro-Costa et al., 2014
Digital dermatitis	Cattle	Hoof	0.5 m	Alsaad et al., 2014
Parasite count	Cattle	Scrotum, flank, forehead and face	1.0 m	Cortivo et al., 2016
Mastitis	Cattle	Udder	1.5 m	Digiovani et al., 2016
Estrus detection	Goats	Vulva	1.0 m	Façanha et al., 2018
Estru	Buffalo	Eye, vulva and snout	1.0 m	Ruediger et al., 2018
Animal selection	Cattle	Eye, face and digital region	2.0 m	Schaefer et al., 2018
Sêmen quality	Buffalo	Testicles	1.0 m	Yadav et a., 2019
Changes of the teats after mechanical milking	Cattle	Teats	0.5 m	Tangorra et al., 2019
Autonomic nervous response	Sheep	Eye	1.0 m	Sutherland et al., 2020
Thermoregulation	Sheep	Ocular, dorsal, ventral, shoulder, rump, forelegs, hind legs and ribs	1.0 m	Pulido-Rodríguez et al., 2021

## USE OF INFRARED THERMOGRAPHY IN FARM ANIMALS

The first record of IRT in veterinary medicine was in 1963 in horses. Observing the promising results of IRT in the diagnosis of diseases in humans, the researcher Smith Wendell sought to know the possible applications of IRT in detecting the thermal variation of horses with injured hocks and with calcium deposits in the limbs (Smith, 1964). Over the years, IRT has been widely used in livestock production to register the surface temperature variations in the animals, emitted as infrared radiation, (Sathiyabarathi et al., 2016; McManus et al., 2016; Loyau et al., 2016, Castells et al., 2019). According to Chacur et al. (2018), the IRT is an easy technique to be applied, allowing to perform diagnostic imaging on different body regions, without stress to the animals during the measurements.

Castells et al. (2019) related that, as well as ultrasonography, radiography and computed tomography, the infrared thermography is non-invasive tool useful to diagnose diseases.

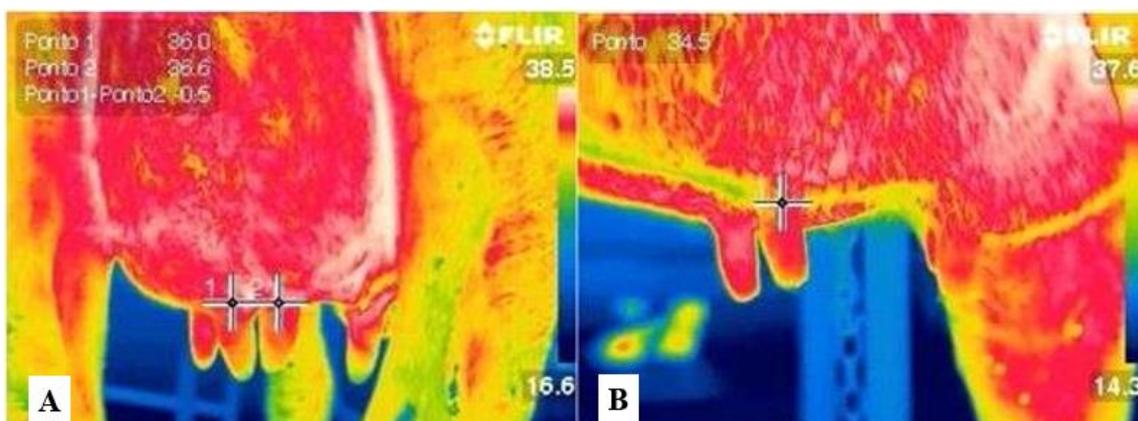
Furthermore, it is a useful tool that helps to understand the interactions between organisms and animal production systems (Eddy et al., 2001; Berry et al., 2003; Ludwig et al., 2013), and there are several applications in livestock production, Table 2.

## Bovine

The detection of diseases using IRT can be used in a population of individuals where monitoring can be continuous or repeated, i.e., temperature detection can be performed in a group of animals or among individuals in the group. Lowe et al. (2019) evaluated the association between body thermography and neonatal diarrhea in calves and identified significant changes in the flank and shoulder surface temperatures before the onset of clinical symptoms of the disease. According to these authors, the decrease of temperature of these regions may be due to reduced food intake and metabolic activity caused by disease. Schaefer et al. (2012) evaluating the alterations of the body temperature in calves, reported a relation between the increase of body and eye temperatures and respiratory disease.

Mastitis is an inflammation of the mammary gland caused by several microorganisms, resulting in big economic losses to milk production due to alterations of physical, chemical and bacteriological characteristics of milk (Radostits et al., 2009). The onset of mastitis presents an inflammatory response associated with a rise in temperature in the affected region of the udder (Berry et al., 2003). Research showed that the IRT can identify thermal variations in the mammary gland surface due to increased blood flow in the affected region, Figure 1 (Eddy et al., 2001; Berry et al., 2003; Martins et al., 2013).

**Figure 1** - Thermographic images of bovine mammary glandule. Caudal region (A) and left side lateral region (B)



Source: Digiovani et al. (2016, p. 687)

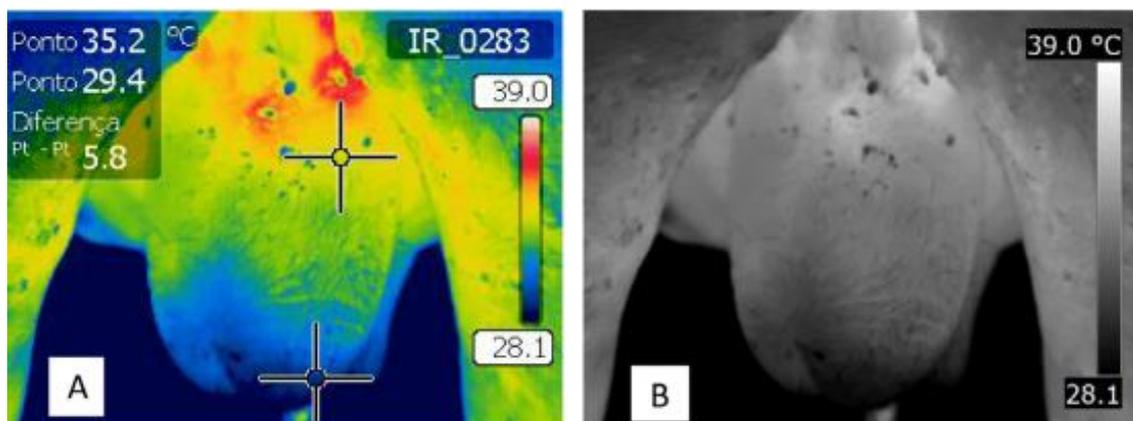
In study, Zaninelli et al. (2018) found a significant and positive correlation between the udder skin surface temperature (USST) and somatic cell count (SCC) in dairy cows, recording an

increase of approximately 1.6°C in affected mammary quarters, concluding that the IRT is a useful tool for early detection of mastitis. Similar result was found by Sathiyabarthi et al. (2018), which recorded the increase of 1.51°C in the USST in dairy cows with subclinical mastitis, when compared to USST in healthy cows, concluding that the IRT was effective in detecting animals with subclinical mastitis. In another study, Golzarian et al. (2017) observed difference for USST (0.44°C) between healthy and sick cows, showing that the IRT was able to detect slight differences in USST, being extremely useful in the diagnosis of mastitis. Therefore, the IRT can be a valuable tool that simplifies the method of control and detection of mastitis, reducing the diagnostic costs, reducing laboratory tests, contributing to the adaptation and promotion of ethical and sustainable techniques on dairy production.

Digital dermatitis is a serious disease that affects farm animals, causing economic losses and prejudice in animal welfare. According to LokeshBabu et al. (2018), the detection of early lameness is essential for animal welfare and reduction of economic losses. Harris-Bridge et al. (2018) evaluating the mean temperature as probable indicators of dermatitis in dairy cows, showed significant difference in temperature between lame and healthy hooves. Alsaad et al. (2014) showed that the surface temperature of crown and hoof in dairy cows with digital dermatitis was 2.56°C and 2.49°C, respectively, higher than temperature of crown and hoof in healthy cows.

The standard method of counting parasites on cows and bulls requires a lot of time, work and attention to obtain an accurate result (Fraga et al., 2003; Fraga et al., 2005). A study using IRT, Cortivo et al. (2016) compared the standard method of counting tick and horn flies in cattle raised on pasture with an automatic counting program combined with infrared images. The authors reported that the IRT was efficient and accurate when compared to visual counting. According to those authors, these parasites have a lower temperature than the animals, being easily captured by thermal images (Figure 2).

**Figure - 2.** Thermographic images of ticks on the scrotum. Color scale (A) and gray scale (B)



Source: Cortivo et al. (2016, p. 415)

Research have evaluated the ability of the IRT to identify heat stress in cattle and the best anatomical region that would indicate this situation. Mammals can maintain a constant body temperature in several environmental conditions, however when body temperature is above normal, these organisms do not function properly (Hansen, 2013). Daltro et al. (2017) showed that the IRT allowed to show that purebred Holstein cows are less heat tolerant when compared to crossbred Holstein cows, and that the mammary gland would be the ideal anatomical region to find heat stressed animals.

Cardoso et al. (2015) recorded differences on the body surface temperature between several Zebu breeds (Gir, Girolanda, Nellore, Indubrasil and Sindhi). The study showed that the temperatures were significantly influenced by environmental factors. Moreover, the morphometry, coat and skin color traits affected the skin surface temperature, rectal temperature, physiological parameters, and thermal regulation. The study also reported that the Gir breed was the least adapted to the climatic conditions, while the Girolanda and Sindhi breeds were the best adapted. The eyes were significantly more affected by the environmental effects and therefore could be used to identify animals under heat stress.

The traditional techniques of estrus detection may have some limitations in herds, directly compromising the reproductive efficiency and longevity of animals (Perez Marques et al., 2019). IRT has been applied as a tool to facilitate estrus or ovulation detection. In a study, Vicentini et al. (2020), showed that IRT is a tool to detect temperature variation during the proestrus and estrus phases in heifers, and that the regions around the vulva exhibited the highest temperature. Perez Marques et al. (2019) identified increase of the infrared temperature of 0.5°C and 1.20°C into 48 and 24 hours, respectively, before ovulation in various regions of the body during the estrus in cows, concluding that the IRT can be useful in identifying of pregnancy dairy cows, in estrus, cyclic or non-cyclic. Talukder et al. (2014) also reported an increase of 1.50°C in the vulva surface temperature of cows 24 hours before the start of ovulation and a regression to normal 48 hours after ovulation, and that the IRT was able to identify 83% of the cows in estrus. According to Ruediger et al. (2018), the ability to detect estrus or ovulation can be due to the increase of tissue vascularization and blood flow of the vulva surface in females in estrus. Therefore, IRT has enormous potential for monitoring animal reproduction, aiming to improve herd fertility rates.

Management techniques prone to influence animal behavior, such as fear and pain, are among many factors that compromise animal welfare and livestock profitability. Therefore, the ability to measure fear in non-invasive ways is essential to assess animal behavior and welfare, to identify and correct actions that cause discomfort (Cannas et al. 2018). According to Sammer et al. (2019), the application of new tools able to identify management practices that cause fear and pain in cattle is necessary. Stewart et al. (2008) evaluating the ability of IRT to detect stressed cattle after management practices, registered that the eye temperature quickly reduced after handling, and this may be associated to the level of fear or pain of animals, suggesting that the IRT can be used to

assess the degree of stress caused by different management practices at commercial livestock farms.

One of those techniques that can cause discomfort and fear in beef cattle is weighing. In most farms, the monitoring of weight gain is done by weighing the animals on scales, which requires restraining, causing discomfort and stress. However, research has evaluated the capacity of the IRT to assist and facilitate the handling of cattle weighing. Stajnko et al. (2008) found positive correlations between infrared body temperatures and live weight in beef cattle, and that IRT can be used to estimate body weight quickly and without the need to contain the animals. According to Sammer et al. (2019), the application of these modern technologies that aim to adapt management systems is essential to maintain the productivity of the animal industry.

Animal feeding contributes about 70% of production costs, and animals with low feed efficiency can increase these costs. The ability of animals to use energy and convert it into products is called “feed efficiency”. According to Leão et al. (2018), animals with high feed efficiency have lower residual food intake (negative intake), while animals with low feed efficiency have higher residual food intake (positive intake). Schaefer et al. (2018) reported that this information is fundamental to increase the productivity and sustainability of livestock production systems. However, Berry et al. (2014) revealed that these measurements have high operational cost in a large population of animals. Conventional methods, such as calorimetry and feed intake, cost approximately US \$300.00/animal (Schaefer et al., 2018). So, researchers have shown that the IRT can be an alternative to assess the association between body surface temperature and physiological processes related to feed efficiency, especially on commercial farms (Montanholi et al., 2008). Leão et al. (2018) identified that the eye infrared temperatures were significantly higher (0.5°C) in calves with high feed efficiency, i.e., lower dry matter intake (-0.14 kg/day), when compared to calves with low feed efficiency, i.e., high dry matter intake (0.13 kg/day), suggesting that the IRT is a tool capable of identifying calves with better feed efficiency.

Montanholi et al. (2009) recorded moderate correlations between infrared temperature of eyes, cheeks, paws and residual food intake, dry matter intake and the weight gain in adult beef cattle, indicating that their infrared temperature can be useful to facilitate the assessment of feed efficiency in adult beef cattle. Schaefer et al. (2018) registered an increase of 0.37°C in cheek infrared temperature in dairy cows with positive residual food intake (1.93 kg/day), when compared to the animals with negative residual food intake (-1.76 kg/day). The authors concluded that the IRT is a quick and non-invasive method to measure the metabolic efficiency in dairy cattle due to the positive correlation (0.39) between residual food intake and cheek temperature.

## Buffalo

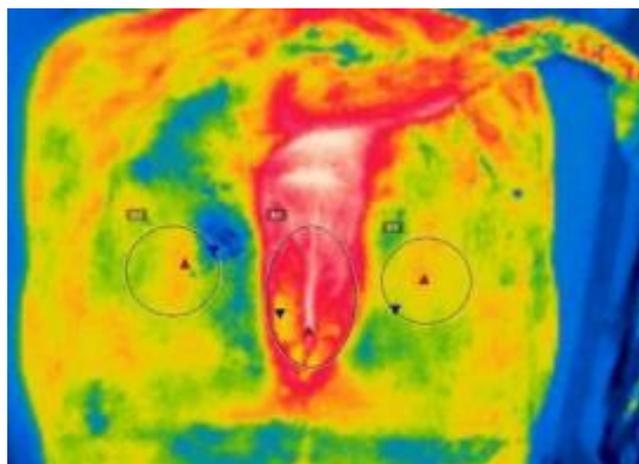
In recent years the IRT has been applied to different goals in buffalo production, such as evaluation of thermal stress, body temperature, thermoregulation, and semen quality, among others. Body infrared temperature can be used as an indicator of thermal stress on a determined environment (Salles et al. 2016). IRT can detect the body temperature without the use of a rectal thermometer (Candido et al., 2020), without direct contact with the animal (McManus et al., 2016).

Barros et al. (2016) evaluating the variations of body IRT in buffalo bulls, estimated a correlation of 0.58 between maximum rectal temperature and maximum eye temperature, concluding that the IRT may be useful to detect the variations in buffalo bulls. According to Chacur (2017), high correlation between eye IRT and rectal temperature may be an alternative to make the measurement of temperature of buffaloes easier, reducing animal stress.

Sevegnoni et al. (2016) evaluated the thermoregulation response of dairy buffaloes by body mapping IRT in pre-milking and post-milking. They reported that the dairy buffaloes are sensitive to environmental variations and that after milking, the animals activate body thermoregulation mechanisms with greater intensity, suggesting that the skin surface temperature measured by IRT can be a better indicator of thermal comfort than the respiratory rate. According to Mitchell (2013), when an animal is under heat stress, the thermoregulation will involve physiological homeostatic mechanisms that will increase heat transfer from the core to the body periphery. This occurs due to the change in blood flow from the core to the skin surface and/or increased respiratory rate, at body periphery vasodilation occurs, in the skin, regulating the release of heat into the environment.

Chacur et al. (2018) analyzed the variations of udder surface temperature in different periods of mammary development in buffaloes. IRT detected little variations in udder surface temperature, thus reflecting the physiological changes expected for each phase. Ruediger et al. (2018) reported that the vulva IRT showed the physiological changes associated with the variation of progesterone concentration during the reproductive cycle of female buffaloes (Figure 3). According to authors, the strong correlation between the vulva surface temperature and progesterone plasmatic concentration can indicate pregnancy in female buffaloes.

**Figure - 3.** Thermographic images of the vulva in buffalo



Source: Ruediger et al. (2018, p. 156 )

Biological and cellular functions are affected by elevated temperatures, such as embryonic death and reduced sperm quality, affecting animal reproduction. According to Hansen (2009), the rise in body temperature can compromise the function of germ cells, embryonic development and other cells involved in reproduction. Reproductive efficiency of the herd depends on the sperm quality used in reproduction. Therefore, semen quality assessment requires specific laboratory equipment and methods. Thus, researchers have used IRT as a method to assess semen quality through testicles surface IRT. Yadav et al. (2019), reported that scrotal surface IRT in buffalo bulls was positively correlated with sperm mass motility (0.29) and sperm concentration (0.20), and negatively correlated with sperm abnormality (-0.17). Animals with higher scrotal temperature gradient ( $\geq 6.5^{\circ}\text{C}$ ) had better semen quality than those with an inferior gradient ( $\leq 4.0^{\circ}\text{C}$  and  $4.1 - 6.4^{\circ}\text{C}$ ). According to these results, the greater the temperature gradient, the better the sperm quality, and that IRT can be used as a tool to assess the reproductive performance of buffalo bulls.

Ahirwar et al. (2018) showed that the higher the air temperature and humidity index, the higher the superficial testicle IRT of buffalo bulls, and consequently, the higher the abnormal sperm rate, concluding that the scrotal IRT was enough to identify the environmental variables affecting semen quality. According to Chacur (2017), that is due to positive correlation between scrotal temperature and semen quality, satisfactorily indicating the semen quality. Nonetheless, semen quality in buffalo bulls can be associated with the testicle coverage thickness, which can compromise the testicle heat loss. According to Yadav et al. (2019), buffalo bulls with little testicle coverage thickness have a lower percentage of abnormal sperm than buffalo bulls with greater testicle coverage, and this may be due to greater amount of scrotal heat loss and greater thermoregulatory capacity of buffalo bulls with smaller testicle coverage.

## Ovine and caprine

The choosing of animals more adapted to climatic change is a decisive factor to obtain good productive and reproductive rates. The maintenance of body temperature reflects the thermoregulation ability of animals. Hansen (2009), reported that during heat stress the animals regulate body temperature, reducing food intake, which decreases metabolic heat production, maintaining ideal body temperature. According to Montanholi et al. (2009), the metabolic heat produced is distributed to the body through the blood, however, when animals are exposed to high ambient temperature, peripheral vasodilation occurs, increasing blood flow to the skin to dissipate internal heat to the environment.

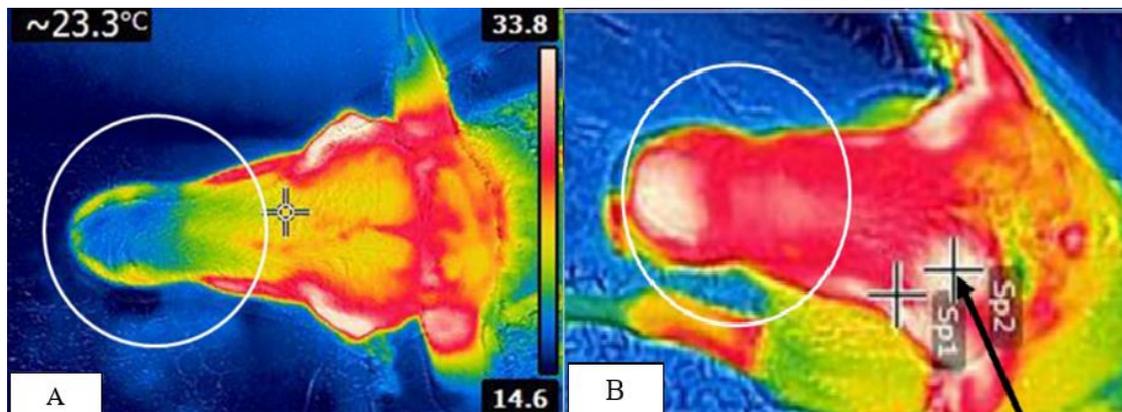
Pulido-Rodríguez et al. (2021), studying the thermoregulatory response of Santa Inês, Dorper × Santa Inês and White Dorper × Santa Inês sheep, found a positive correlation between rectal temperature and ocular infrared temperature (0.71), and that all breeds have similar thermal tolerances, concluding that IRT is a tool capable of detecting changes in body temperature and that it can be used to identify animals that are more tolerant to heat stress situations. In another study, evaluating the heat tolerance of different sheep breeds, Cruz Júnior et al. (2015) showed that Santa Inês was more tolerant to tropical conditions than the other breeds. So, this breed was considered the most suitable breed in this environmental condition, concluding that the IRT can be a useful tool to identify sheep breeds more adapted to the tropics.

McManus et al. (2015) showed that lambs less efficient in thermoregulation had higher IRT and lower carcass weight. These authors concluded that the lighter carcasses could be associated with reduced food intake, compromising the productivity of animals. Silva et al. (2014), evaluating the adaptation of Parda Alpina and Anglo-Nubiana dairy goats to dry weather, reported that the neck, rump, thigh, and flank IRT presented differences between breeds. The highest infrared temperatures and respiratory rates were recorded in the Parda Alpina breed, therefore, being considered less adapted to dry weather.

In a study about the use of IRT to register a physiological reaction through the change in eye temperature as response to stress and fear during handling, Cannas et al. (2018) suggested that IRT combined with behavioral data can identify the stress and make inference about negative emotions in sheep. IRT allows the monitoring of herd health without direct contact with animals. The use of IR as an image diagnostic method has been tested for some respiratory diseases, such as enzootic sheep nasal adenocarcinoma. This disease is characterized as a tumor in the upper airways, causing pressure around the nasal bone, leading to deformation of the bone or of the entire skull in more severe cases. The IRT image of the nostril of a healthy animal had blue and green colors (Figure 4A), while in sick animals, IRT images showed red and white in the injured region of the nose. This is because in healthy animals, the air that travels through the nostril cools the area,

while in sick animals, the air does not penetrate normally, causing the injured area to heat up, displaying color red or white, Figure 4B (Castells et al., 2019).

**Figure - 4.** Image infrared of a healthy animal with normal refrigeration of the nostril (A). Image infrared of a sick animal with a enzootic sheep nasal adenocarcinoma (B).



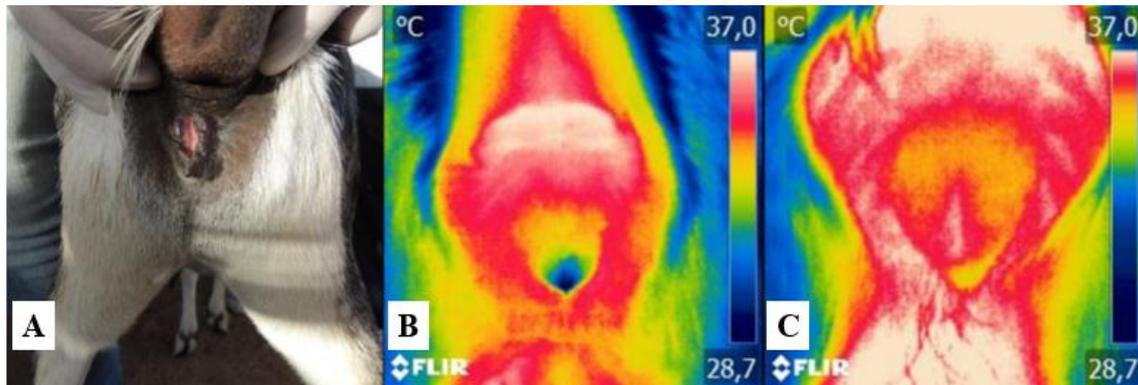
Source: Castells et al. (2019, p. 113), figure adapted

Laminitis is one of the main diseases that affect sheep, especially in places with high humidity and rainy areas. However, monitoring and diagnosing this disease in the field is very laborious and difficult to carry out, especially in large herds, where it is necessary to visually examine each hoof with of the sheep (Byrne et al., 2019). Byrne et al. (2019) assessing the use of IRT to detect lameness in sheep, found a temperature difference of 8.5°C between healthy and infected hooves, and that the IRT showed sensitivity of 77% and specificity of 78%, indicating that it has the potential to detect infection in sheep hooves.

Another disease of great economic importance in the production of dairy sheep and goats is mastitis. Mastitis is a serious health problem for dairy sheep and IRT has been a tool for mastitis detection in sheep and goat. Castro-Costa et al. (2014) detected variations in udder surface temperature of ewes associated with the inflammatory process caused by mastitis. Martins et al. (2013) reported that IRT is a promising technique to detect subclinical mastitis in ewes. According to these authors, this may be due to, in the acute process, during subclinical mastitis, the affected region produces a higher temperature, while in clinical mastitis, the temperature is lower.

The IRT has been reported as a useful tool for identifying the variation in surface temperature of the vulva in estrus goats. Façanha et al. (2018) identified an increase in temperature in the vulva region by infrared thermography (Figure 5B and Figure 5C). According to these authors, the accuracy and agility of IRT, when combined with visual detection of estrus and estrogen hormone levels in Canindé goats, is a faster and more accurate option for estrus detection by breeders. However, more studies are needed.

**Figure - 5.** Photography (A) and thermographic image of vulvar and perivulvar regions of Canindé goats in pro-estrous (B) and estrous (C) identified by external signs and hormonal measurements



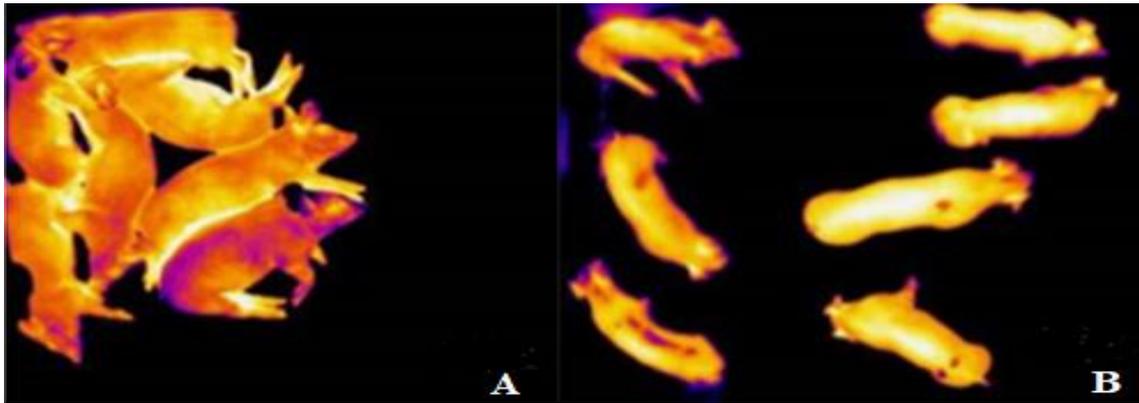
Source: Façanha et al. (2018, p. 51)

## Swine

The monitoring and controlling of ambient temperature, and the maintaining optimal thermal conditions are the main difficulties for pig production. Some researchers have shown that the IRT can facilitate the measurement of body temperature in swine due to the association between body IRT and rectal temperature. In a recent study, Schmitt and Driscoll (2021) evaluating the IRT as an alternative to measure temperature of piglets after birth, registered a stronger correlation between rectal temperature and ear base IRT. According to authors, piglets with lower birth weight had less IRT and higher risk of hypothermia, confirming that IRT could be used to investigate the risk of hypothermia in piglets.

Justino et al. (2014) evaluated the heat loss and variables related to the thermal comfort of lactating sows submitted to an evaporative cooling system during the summer. The results indicated that the evaporative cooling system significantly reduced the skin surface temperature in 0.47°C when compared to sows in natural ventilation, and increased heat losses by convection and evaporation, resulting in lower skin surface temperature. In another study, Cook et al. (2014) reported that IRT can be used to detect febrile responses and behavioral changes after vaccination against Parvovirus in weaned piglets. They affirmed that 3 h after getting the vaccine, the animals showed higher body surface temperatures and grouping behavior, when compared to unvaccinated animals (Figure 6A and Figure 6B). The IRT is a tool for obtaining precise measurement of cardiorespiratory signals in swine (Pereira et al., 2019). Boileau et al. (2019) showed that the dorsal plane is the best anatomical region for thermographic studies in pigs when compared to the eye or ear. The IRT can be used to obtain measures and responses associated with stress situations, and welfare on farm pigs.

**Figure - 6.** Spatial distribution of pigs after (A) and before (B) vaccination against parvovirus. In (A) observing the behavior of watering between the animals after 3 h from receiving the vaccine.



Source: Cook et al. (2014, p. 341), figure adapted

## Bird

In poultry production, body temperature is obtained by the rectal thermometer. This method is invasive and causes stress in the animals (McManus et al., 2016). So, studies have tested IRT as an alternative to measure the body temperature in birds. Candido et al. (2020) reported a strong correlation between cloacal temperature and body IRT in broiler chickens. The study also recorded 95% accuracy of IRT, suggesting that this technology can be a useful tool to obtain the body temperature in broiler chickens.

In another study, Nascimento et al. (2014) found a high positive correlation between the IRT of poultry facilities and body IRT of broilers chickens. The authors highlighted the importance of the materials of choice, pointing out that they must have low thermal conductivity to reduce heat transfer from the external environment to facilities and to the chickens.

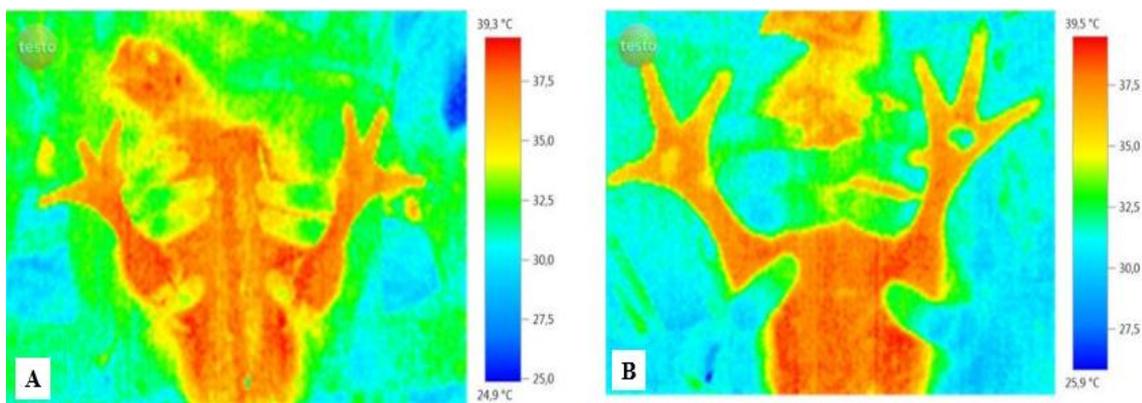
Thermal stress has a negative impact on poultry production. Therefore, in addition to the correct management and suitable poultry facilities, the choice of animals should consider the climatic conditions and the animal's thermoregulation ability (Justino et al., 2014). According to Mitchell (2013), body surface temperature can provide information about the degree of thermal stress of animals. In production poultry, Loyau et al. (2016) reported that the body surface temperature of laying hens is an indicator to be used as a selection criterion for climate adaptation in chickens. Furthermore, the authors showed that the IRT is easy to be standardized and automated on farms, providing an accurate temperature reading in large numbers of animals.

Alves et al. (2012) reported that laying hens in cold stress expended about four times more energy to keep homeothermy due to the decrease in the ability of birds to consume food. According to Young (1981), the decrease in food intake can be due to the behavioral changes in the animals, such as grouping between laying hens to reduce the loss of body heat. Furthermore, the reduction of egg production may be associated with the deviation of energy to keep the homeothermy,

reducing the efficiency of food conversion. Ferreira et al. (2011) evaluating the behavior of body IRT in broilers and diets with different energy levels, showed that broilers fed with diet rich in energy lost less metabolic heat than broilers fed a lower energy diet, and that the IRT was efficient to detect variations in metabolic heat production these animals.

Pododermatitis is a disease of economic importance in poultry which affects the locomotion of the birds, compromising the productivity, carcass quality and egg production. The IRT has been used as a tool to identify pododermatitis in birds. In commercial farms, poultry feet contain soil, feed and other dirt, which compromise the skin emissivity. Moe et al. (2018) evaluating thermal variations by IRT in turkey paws, reported that the maximum foot pad temperature was more accurate in detecting thermal variations and, therefore, could be a good anatomical region used in future thermographic studies of detection of pododermatitis in turkeys. Jacob et al. (2016) revealed that chickens with pododermatitis have a 5.0°C lower surface temperature on the skin of their feet than healthy chickens (Fig. 7.A and Fig. 7.B). According to the authors, the decrease in the surface temperature of the feet of sick birds may be associated with vasoconstriction caused by skin necrosis. The study concluded that the IRT of the feet can replace visual inspection in the identification of clinical and subclinical lesions in broiler chickens. According to Harris-Bridge et al. (2018) the development of an automated system to detect pododermatitis in commercial birds is essential, reducing the need for visual inspections during animal locomotion.

**Figure - 7.** Thermography imagens of broilers with pododermatitis (A). Birds without footpad lesions presented feet with uniform surface temperature and bird with pododermatitis (B). Birds with pododermatitis presented points on the footpad with low surface temperature indicating tissue necrosis



Source: Jacob et al. (2016, p. 257)

### Limitations of the IRT in livestock animals

Even if infrared thermography has some limitations, it can be used in thermographic study of animals to increase the precision of temperature measurement. Researchers have shown that

several factors can affect the reliability of IRT, such as camera configuration (Knížková et al., 2007); camera cleaning (Glavas et al., 2018); feeding period (Montanholi et al., 2008); Day period (Castro-Costa et al., 2014); Pelage and plumage (Mitchell, 2013; Pulido-Rodríguez et al., 2021); body color (Ludwing et al., 2013; Chacur et al., 2014); solar radiation on the study surface (Ludwing et al., 2013; Chacur et al., 2014); season (Chacur et al., 2016; Ahirwar et al., 2017); breed (Cruz Júnior et al., 2015); milking period (Yang et al., 2018); air temperature and humidity (Chacur et al., 2016; Schaefer et al., 2018); animal stress (Pulido-Rodríguez et al., 2021) and reproductive stage (Deak et al., 2019). According to Polat et al. (2010), the identification and control of these factors is necessary when using IRT.

The elaboration of specific protocols for each animal species and anatomical region allows to reduce errors and increase the accuracy of IRT in future studies (Moe et al. 2018). Studies have shown that other sources of variation, such as anatomical region, analysis methods, feeding time, camera focus and angle, milking and physical activities of animals before of the measurements should also be considered in thermographic studies (Knížková et al., 2007; Talukder et al., 2014; Moe et al., 2018).

In addition, other factors such as animal handling, non-standardized environment and animal physiology should be taken into account before thermographic analysis (Ricarte et al., 2014). Furthermore, it is necessary to understand the principles related to thermal variations and surface heat exchanges, to know how these thermal distributions can be influenced by the relationship of physiological and metabolic processes with pathologies and adaptive factors.

### **Perspectives of IRT in livestock animals**

Currently, thermal imagers are developed with innovative technology, increasingly affordable acquisition cost and considerable durability (Ricarte et al., 2014). Besides, the new devices have greater precision, around  $\pm 1.0^{\circ}\text{C}$  (Nääs et al., 2014), and the thermal images are saved and processed easily, quickly, and can be applied as a routine procedure complementary to clinical examinations in animals (Chacur et al., 2016).

Infrared thermography is a promising method for several goals in livestock production. Due to its non-invasive nature and safe procedures (Castells et al., 2019) IRT provides a way to obtain data in different anatomical regions, without stress (Chacur et al., 2016). The high correlations between normal thermal variations and abnormal thermal variations from inflammatory processes and other clinical data, show that the IRT still has a lot to contribute for livestock production. The technological development of the IRT method should be explored to facilitate the monitoring and controlling of body temperature changes of animals.

## CONCLUSIONS

Infrared thermography has been used for several purposes in animal production as it's a non-invasive, accurate and quick tool for detecting changes related to metabolic, physiological, and inflammatory processes in animals. Despite being more used in cattle, IRT can be applied in several animal species and with different purposes, to substitute the conventional methods of diagnosing diseases, inflammatory processes, reproductive stage, semen quality, selection aid, adaptive traits and heat stress. In addition, IRT can quickly identify disease, preventing the spread of contagious maladies to the herd.

This review aims to clarify some difficulties, advantages, and the various possibilities of IRT use in livestock production. However, more studies are needed to improve the thermographic apparatus and software, and to obtain standardized detection models with sensitivity to diagnose physiological and biological changes in the several animal species.

## Conflict of interest statement

None

## Acknowledgments

The authors thank the Doctor Pedro de Morais Andrade for reviewing the text

**Funding:** This work was supported by the Coordination of Higher Education Personnel Improvement/CAPES – Brazil [001]

## REFERÊNCIAS

AHIRWAR, M. K.; KATAKTALWARE, M. A.; PUSHPADASS, H. A.; SAKTHIVEL JEYAKUMAR, S.; JASH, S.; NAZAR, S.; DEVI, L. G.; KASTELIC, J. P.; RAMESHA, K. P. Scrotal infrared digital thermography predicts effects of thermal stress on buffalo (*Bubalus bubalis*) semen. **Journal of Thermal Biology**, v. 78, p. 51-57, 2018.

AHIRWAR, M. K.; KATAKTALWARE, M. A.; RAMESHA, K. R.; PUSHPADASS, H. A., JEYAKUMAR, S.; REVANASIDDU, D.; KOUR, R. J.; NATH, S.; NAGALEEKAR, A. K.; NAZAR, S. Influence of season, age and management on scrotal thermal profile in Murrah bulls using scrotal infrared digital thermography. **International Journal of Biometeorology**, v. 61, p. 2119-2125, 2017.

ALEJANDRO, M.; ROMERO, G.; SABATER, J. M.; DIAZ, J. R. Infrared thermography as a tool to determine teat changes caused by machine milking in Murciano-Granadina goats. **Livestock Science**, v. 160, p. 178-185, 2014.

- ALSAAOD, M.; SYRING, C.; DIETRICH, J.; DOHERR, M. G.; GUJAN, T.; STEINER, A. A field trial of infrared thermography as a non-invasive diagnostic tool for early detection of digital dermatitis in dairy cows. **Veterinary Journal**, v. 199, p. 281-285, 2014.
- ALVES, F. M. S.; FELIX, G. A.; ALMEIDA, P. I. C. L.; NÄÄS, I. A.; SOUZA, G. M.; CALDARA, F. R.; GARCIA, R. G. Impact of exposure to cold on layer production. **Brazilian Journal of Poultry Science**, v. 14, p. 223-226, 2012.
- BARROS, D. V.; SILVA, L. K. X.; KAHWAGE, P. R.; LOURENÇO JÚNIOR, J. B.; SOUSA, J. S.; SILVA, A. G. M.; FRANCO, I. M.; MARTORANO, L. G.; GARCIA, A. R. Assessment of surface temperatures of buffalo bulls (*Bubalus bubalis*) raised under tropical conditions using infrared thermography. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 68, n. 2, p. 422-430, 2016.
- BERRY, D. P.; COFFEY, M. P.; PRYCE, J. E.; DE HAAS, Y.; LOVENDAHL, P.; KRATTENMACHER, N.; CROWLEY, J. J.; WANG, Z.; SPURLOCK, D.; WEIGEL, K.; MACDONALD, K.; VEERKAMP, R. F. International genetic evaluations for feed intake in dairy cattle through the collation of data from multiple sources. **Journal Dairy Science**, v. 97, p. 3894–3905, 2014.
- BERRY, R. J.; KENNEDY, A. D.; SCOTT, S. L.; KYLE, B. L.; SCHAEFER, A. L. Daily variation in the udder surface temperature of dairy cows measured by infrared thermography: Potential for mastitis detection. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 83, p. 687–693, 2003.
- BOILEAU, A.; FARISH, M.; TURNER, S. P.; CAMERLINK, I. Infrared thermography of agonistic behaviour in pigs. **Physiology & Behavior**, v. 210, 2019.
- BYRNE, D. T.; BERRY, D. P.; ESMONDE, H.; MCGOVERN, F.; CREIGHTON, P.; MCHUGH, N. Infrared thermography as a tool to detect hoof lesions in sheep. **Translational Animal Science**, v. 3, p. 577–588, 2019.
- CANDIDO, M. G. L.; TINOCO, I. F. F.; ALBINO, L. F. T., FREITAS, L. C. S. R., SANTOS, T. C., CECON, P. R., GATES, R. S. Effects of heat stress on pullet cloacal and body temperature. **Poultry Science**, v. 99, p. 2469-2477, 2020.
- CANNAS, S.; PALESTRINI, C.; CANALI, E.; BRUNO COZZI, B.; FERRI, N.; HEINZ, E.; MINERO, M.; CHINCARINI, M.; VIGNOLA, G.; COSTA, E.D. Thermography as a Non-Invasive Measure of Stress and Fear of Humans in Sheep. **Animals**, 2018. 8:146, 2018.
- CARDOSO, C. C.; PERIPOLLI, V.; AMADOR, S. A.; BRANDÃO, E. G.; ESTEVES, G. I. F.; SOUSA, C. M. Z.; FRANÇA, M. F. M. S.; GONÇALVES, F. G.; BARBOSA, F. A.; MONTALVÃO, T. C.; MARTINS, C. F.; FONSECA NETO, A. M.; MCMANUS, C. Physiological and thermographic response to heat stress in zebu cattle. **Livestock Science**, 182:83-92, 2015.
- CASTELLS, E.; LACASTA, D.; CLIMENT, M.; PÉREZ, M.; SANROMÁN, F.; JIMÉNEZ, C.; FERRER, L. M. Diagnostic imaging techniques of the respiratory tract of sheep. **Small Ruminant Research**, 180:112-126, 2019.
- CASTRO-COSTA, A.; CAJA, G.; SALAMA, A. A. K.; ROVAI, M.; FLORES, C.; AGUILÓ, J. Thermographic variation of the udder of dairy ewes in early lactation and following an *Escherichia*

coli endotoxin intramammary challenge in late lactation. **Journal of Dairy Science**, 97:1377–1387, 2014.

CHACUR, M.G.M. Termografia por infravermelho na reprodução de bubalinos. **Revista Brasileira de Reprodução Animal**, v. 41, n. 1, p. 180-187, 2017.

CHACUR, M. G. M.; BASTOS, G. P.; VIVIAN, D. S.; SILVA, L.; CHIARI, L. N. F.; ARAUJO, J. S.; SOUZA, C. D.; GABRIEL FILHO, L. R. A. Utilização da termografia de infravermelho para avaliação de fatores climáticos e sua influência na reprodução e lactação em gado de leite. **Acta Scientiae Veterinariae**, v. 44, p. 1412, 2016.

CHACUR, M. G. M.; DANTAS, A.; OBA, E.; RUEDIGER, F. R.; OLIVEIRA, R. A.; BASTOS, G. P.; JORGE, A. M. Avaliação termográfica do desenvolvimento mamário de búfalas e sua regulação endócrina em distintos estágios fisiológicos. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 70, n. 2, p. 450-456, 2018.

COLAK, A.; POLAT, B.; OKUMUS, Z.; KAYA, M.; YANMAZ, L. E.; HAYIRLI, A. Short communication: early detection of mastitis using infrared thermography in dairy cows. **Journal of Dairy Science**, n. 91, p. 4244–4248, 2008.

COOK, N. J.; CHABOT, B.; LUI, T.; BENCH, C. J.; SCHAEFER, A. L. Infrared thermography detects febrile and behavioural responses to vaccination of weaned piglets. **Animal**, v. 9, n. 2, p. 339–346, 2014.

CORTIVO, P. D.; DIAS, E.; BARCELLOS, J. O. J.; PERIPOLLI, V.; COSTA JÚNIOR.; J. B. G.; DALLAGO, B. S. L.; MCMANUS, C. M. M. Use of thermographic images to detect external parasite load in cattle. **Computer and Electronics in Agriculture**, v. 127, p. 413-417, 2016.

CRUZ JÚNIOR, C. A.; LUCCI, C. M.; PERIPOLLI, V.; TANUREA, C. B.; RIBEIROA, L.M.C.S.; BARBOSAA, T.M.; RAMOS A. F.; LOUVANDINI, H.; MCMANUS, C. Laser and thermographic infrared temperatures associated with heat tolerance in adult rams. **Small Ruminant Research**, v. 132, p. 86–91, 2015.

DALTRO, D. S.; FISCHER, V.; ALFONZO, E. P. M.; DALCIN, V. C.; STUMPF, M. T.; KOLLING, G. J.; SILVA, M. G. B.; MCMANUS, C. Infrared thermography as a method for evaluating the heat tolerance in dairy cows. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 46, n. 5, p. 374-383, 2017.

DEAK, F. L. G. B.; ANDRADE, I. B.; CORNACINI, G. F.; GARCIA, A. R.; GABRIEL, L. R. A. F. Effects of physiological stage and season on infrared thermograms of different body areas of dairy cows raised under tropical conditions. **Animal Reproduction**, v. 16, n. 2, p. 311-316, 2019.

DIGIOVANI, D. B.; BORGES, M. H. F.; GALDIOLI, V. H. G.; MATIAS, B. F.; BERNARDO, G. M.; SILVA, T. R.; FÁVARO, P. C.; BARCA JÚNIOR, F. A.; LOPES, F.; KOETZ JÚNIOR, C.; RIBEIRO, E. L. A. Infrared thermography as diagnostic tool for bovine subclinical mastitis detection. **Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal**, v. 10, n. 4, p. 685 – 692, 2016.

EDDY, A. L.; VAN HOOOGMOED, L. M.; SNYDER, J. R. The Role of Thermography in the Management of Equine Lameness. **The Veterinary Journal**, v. 162, n. 3, p. 172–181, 2001.

FAÇANHA, D. A. E.; PEIXOTO, G. C. X.; FERREIRA, J. B.; SOUSA, J. E. R.; PAIVA, R. D. M.; RICARTE, A. R. F. Detecting estrus in Canindé goats by two infrared thermography methods. **Acta Veterinary Brasilica**, v. 12, p. 49-54, 2018.

FERREIRA, V. M. O. S.; FRANCISCO, N. S. I.; BELLONI, M. I.; AGUIRR, E. G. M. Z.; CALDARA, F. R.; NÄÄS, I. A.; GARCIA, R. G.; ALMEIDA PAZ, A. I. C. L.; POLYCARPO, G.V. Infrared thermography applied to the evaluation of metabolic heat loss of chicks fed with different energy densities Brazilian. **Journal Poultry Science**, v. 13, p. 113-118, 2011.

FRAGA, A. B.; ALENCAR, M. A.; FIGUEIREDO, L. A.; RAZOOK, A. G.; CYRILLO, J. N. S. G. Análise de fatores genéticos e ambientais que afetam a infestação de fêmeas bovinas da raça caracu por carrapatos (*Boophilus microplus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32, n. 6, p. 1578-1586, 2003.

FRAGA, A. B.; ALENCAR, M. A.; FIGUEIREDO, L. A.; RAZOOK, A. G.; CYRILLO, J. N. S. G. Genetic analysis of the infestation of females of the Caracu cattle breed by Horn Fly (*Haematobia irritans irritans*) (L.) (*Diptera, Muscidae*). **Genetics and Molecular Biology**, v. 28, n. 2, p. 242-247, 2005.

GLAVAS, H.; BOBIĆB, T.; DORIĆA, D. Infrared thermography camera protection in dairy farming management. **Computers and Electronics in Agriculture**, 2018.

GOLZARIAN, M. R.; SOLTANAL, H.; IRANI, O. D.; EBRAHIMI, S. H. Possibility of Early Detection of Bovine Mastitis in Dairy Cows Using Thermal Images Processing. **Iranian Journal Applied in Animal Science**, v. 7, n. 4, p. 549-557, 2017.

HANSEN, P. J. Cellular and molecular basis of therapies to ameliorate effects of heat stress on embryonic development in cattle. **Animal Reproduction**, v. 10, n. 3, p. 322-333, 2013.

HANSEN, P. J. Effects of heat stress on mammalian reproduction. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, v. 364, p. 3341–3350, 2009.

HARRIS-BRIDGE, G.; YOUNG, L.; HANDELA, I.; FARISH, M.; FARISH, M.; MASON, C.; MITCHEL, M. A.; HASKEL, M. J. The use of infrared thermography for detecting digital dermatitis in dairy cattle: What is the best measure of temperature and foot location to use?. **The Veterinary Journal**, v. 237, p. 26-33, 2018.

JACOB, F. G.; BARACHO, M. S.; NÄÄS, I. A.; SOUZA, R.; D’ALESSANDRO SALGADO, D. The use of infrared thermography in the identification of Pododermatitis in broilers. **Journal of the Brazilian Association of Agricultural**, v. 36, n. 2, p. 253-259, 2016.

JUSTINO, E., NÄÄS, I. A.; CARVALHO, T. M. R. The impact of evaporative cooling on the thermoregulation and sensible heat loss of sows during farrowing. **Engenharia Agrícola**, v. 34, n. 6, p.1050-1061, 2014.

KNÍŽKOVÁ, I.; KUNC, P.; GURDIL, G. A. K.; PINAR, Y.; SELVI, K. C. Applications of infrared thermography in animal production. **Journal of the Faculty of Agriculture**, v. 22, p. 329-336, 2007.

LEÃO, L. M.; COELHO, S. G.; MACHADO, F. S.; AZEVEDO, R. A.; LIMA, J. A. M.; CARNEIRO, J. C.; LAGE, C. F. A.; FERREIRA, A. L.; PEREIRA, L. G. R.; TOMICH, T. R.; CAMPOS, M.M. Phenotypically divergent classification of preweaned heifer calves for feed

efficiency indexes and their correlations with heat production and thermography. **Journal of Dairy Science**, v. 101, n. 6, p. 5060–5068, 2018.

LOKESHBABU, D. S.; JEYAKUMAR, S.; VASANTA, P. J.; SATHIYABARATHIG, M.; MANIMARAN, A.; KUMARESAN, A.; PUSHPADASS, H. A.; SIVARAM, M.; RAMESHA K. P.; KATAKTALWARE, M. A. Monitoring foot surface temperature using infrared thermal imaging for assessment of hoof health status in cattle: A review. **Journal of Thermal Biology**, v. 78, p. 10-21, 2018.

LOWE, G. L.; SUTHERLAND, M. A.; WAAS, J. R.; SCHAEFER, A. L.; COX, N. R.; STEWART, M. Physiological and behavioral responses as indicators for early disease detection in dairy calves. **Journal of Dairy Science**, v. 102, n. 6, p. 1-14, 2009.

LOYAU, T.; ZERJA, T.; RODENBURG, T. B.; FABLET, J.; TIXIER-BOICHARD, M.; PINARD-VAN, M. H. L.; MIGNON-GRASTEAU, S. Heritability of body surface temperature in hens estimated by infrared thermography at normal or hot temperatures and genetic correlations with egg and feather quality. **Animal**, v. 10, 10, p. 1594–1601, 2016.

LUDWING, N. **Thermal imaging in biological applications**. In: LUZI, F. MITCHELL, M.; COSTA, L. N.; REDAELLI, V. Thermography: current status and advances in livestock animals and in veterinary medicine. Brescia: Fondazione Iniziative Zooprofilattiche e Zootecniche. p. 27-40, 2013.

MARTINS, R. F. S.; PAIM, T. P.; CARDOSO, C. A. Mastitis detection in sheep by infrared thermography. **Research in Veterinary Science**, v. 94, n.3, p. 722-724, 2013.

MCMANUS, C.; TANURE, C. B.; PERIPOLLI, V.; SEIXAS, L.; FISCHER, V.; GABBI, A. M.; MENEGASSI, S. R. O.; STUMPF, M. T.; KOLLING, G. J.; DIAS, E.; COSTA JÚNIOR, J. B. G. Infrared thermography in animal production: An overview. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 123, p. 10-16, 2016.

MCMANUS, C.; BIANCHINI, E.; PAIM, T. P. Infrared Thermography to Evaluate Heat Tolerance in Different Genetic Groups of Lambs. **Sensors**, v. 15, p. 17258-17273, 2015.

METZNER, M.; SAUTER-LOUIS, C.; SEEMUELLER, A.; PETZ, W.; KLEE, W.; 2014. Infrared thermography of the udder surface of dairy cattle: characteristics, methods, and correlation with rectal temperature. **The Veterinary Journal**, v. 199, p. 57–62, 2014.

MITCHELL, A. M. **Thermal imaging in physiology theoretical and practical considerations**, In: LUZI, F.; MITCHELL, M.; NANNI COSTA, L.; REDAELLI, V. (Eds.), Thermography: current status and advances in livestock animals and in veterinary medicine. Brescia: Fondazione Iniziative Zooprofilattiche e Zootecniche, v. 92, p. 42-46, 2013.

MOE, R. O.; FLO, A.; BOHLIN, J.; VASDAL, G.; ERLANDSEN, H.; GUNERIUSSEN, E.; SJÖKVIST E. C.; STUBSJØEN, S. M. Experimental factors affecting the within- and between-individual variation of plantar foot surface temperatures in turkeys (*Meleagris gallopavo*) recorded with infrared thermography. **Infrared Physics & Technology**, v. 92, p. 381-386, 2018.

MONTANHOLI, Y. R.; ODONGO, N. E.; SWANSON, K. C.; SCHENKEL, F. S.; MCBRIDE, B. W.; MILLER, S. P. Application of infrared thermography as an indicator of heat and methane production and its use in the study of skin temperature in response to physiological events in dairy cattle (*Bos taurus*). **Journal of Thermal Biology**, v. 33, n. 8, p. 468-475, 2008.

MONTANHOLI, Y. R.; SWANSON, K. C.; SCHENKEL, F. S.; MCBRIDE, B. W.; CALDWELL, T. R.; MILLER, S. P. On the determination of residual feed intake and associations of infrared thermography with efficiency and ultrasound traits in beef bulls. **Livestock Science**, v. 125, p. 22–30, 2009.

NÄÄS, I. A.; GARCIA, R. G.; CALDARA, F. R. Infrared thermal image for assessing animal health and welfare. **Journal of Animal Behaviour and Biometeorology**, v. 2, n. 3, p. 66-72, 2014.

NASCIMENTO, G. R.; NÄÄS, I. A.; BARACHO, M. S.; PEREIRA, D. F.; NEVES, D. P. Termografia infravermelho na estimativa de conforto térmico de frangos de corte. **Revista Brasileira de Engenharia e Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 6, p. 658–663, 2014.

NEETHIRAJANA, S.; TUTEJA, S. K.; HUANG, S. T.; KELTON, D. Recent advancement in biosensors technology for animal and livestock health management. **Biosensors and Bioelectronics**, v. 98, p. 398-407, 2017.

PEREIRA, C. B.; DOHMEIER, H.; KUNCZIK, J.; HOCHHAUSEN, N.; TOLBA, R.; CZAPLIK, M. Contactless monitoring of heart and respiratory rate in anesthetized pigs using infrared thermography. **PLoS ONE**, v. 14, n. 11, p. e0224747, 2019.

PEREZ MARQUEZ, H. J.; AMBROSE, D. J.; SCHAEFER, A. L.; COOK, N. J.; BENCH, C. J. Infrared thermography and behavioral biometrics associated with estrus indicators and ovulation in strus-synchronized dairy cows housed in tiestalls. **Journal of Dairy Science**, v. 102, p. 4427–4440, 2019.

POIKALAINEN, V.; PRAKS, J.; VEERMÄE, I.; KOKIN, E. Infrared temperature patterns of cow's body as an indicator for health control at precision cattle farming. **Agronomy Research**, v. 10, p. 187–194, 2012.

POLAT, B.; COLAK, A.; CENGIZ, M.; YANMAZ, L. E.; ORAL, H.; BASTAN, A.; KAYA, S.; HAYIRLI, A. Sensitivity and specificity of infrared thermography in detection of subclinical mastitis in dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 93, p. 3525–3532, 2010.

PULIDO-RODRÍGUEZ, L. F.; TITTO, C. G.; BRUNI, G. A.; FROGE, G. A.; FULONI, M. F.; PAYAN-CARRERA, R.; HENRIQUE, F. H.; GERALDO, A. C. A. P. M.; PEREIRA, A. M. F. Effect of solar radiation on thermoregulatory responses of Santa Inês sheep and their crosses with wool and hair Dorper sheep. **Small Ruminant Research**, v. 202, p. 106470, 2021.

RADOSTITS, O. M.; GAY, C. C.; HINCHCLIFF, K. W.; CONSTABLE, P. D. **Veterinary medicine: A text book of the diseases of cattle, sheep, goats, pigs and horses**, 10<sup>a</sup> ed. New York: Elsevier, 2006.

REDAELLI, V.; CAGLIO, S.; **Thermal imaging theory**, In: LUZI, F.; MITCHEL, M.; NANNI COSTA, L.; REDAELLI, V. (Eds.), *Thermography: current status and advances in livestock animals and in veterinary medicine*. Brescia: Fondazione Iniziative Zooprofilattiche e Zootecniche, v. 92, p. 41-45, 2013.

RICARTE, A. R. F.; FAÇANHA, D. A. E.; COSTA, L. L. M. Possibilidades na utilização da termografia infravermelha no diagnóstico reprodutivo de caprinos. **Acta Veterinária Brasileira**, v. 8, p. 380-384, 2014.

RICCA, B. **Infrared History and Applications**, In: LUZI, F.; MITCHEL, M.; NANNI COSTA, L.; REDAELLI, V. (Eds.), *Thermography: current status and advances in livestock animals and in veterinary medicine*. Brescia: Fondazione Iniziative Zooprofilattiche e Zootecniche, v. 92, p. 3-60, 2013.

RUEDIGER, F. R.; YAMADA, P. H.; BARBOSA, L. G. B.; CHACUR, M. G. M.; FERREIRA, J.C.P.; CARVALHO, N. A. T.; SORIANO, G. A. M.; CODOGNOTO, V. M.; OBA, E. Effect of estrous cycle phase on vulvar, orbital area and muzzle surface temperatures as determined using digital infrared thermography in buffalo. **Animal Reproduction Science**, v. 197, p. 154-161, 2018.

SALLES, M. S. V.; DA SILVA, S. C.; SALLES, F. A.; ROMA J. R.; L. C.; FARO, L. E.; LEAN, P.A.B.M.; OLIVEIRA, C.E.L.; MARTELLO, L.S.; 2016. Mapping the body surface temperature of cattle by infrared thermography. **Journal of Thermal Biology**, v. 6, p. 63-69, 2016.

SATHIYABARATHI, M.; JEYAKUMAR, S.; MANIMARAN, A.; JAYAPRAKASH, G.; PUSHPADASS, H. A.; SIVARAM, M.; RAMESHA, K. P.; DAS, D. N.; KATAKTALWARE, M. A.; PRAKASH, M. A.; KUMAR, R. D. Infrared thermography: A potential noninvasive tool to monitor udder health status in dairy cows. **Veterinary World**, v. 9, p. 1075–108, 2016.

SATHIYABARATHI, M.; JEYAKUMAR, S.; MANIMARAN, A.; PUSHPADASS, H. A.; SIVARAM, M.; RAMESHA, K. P.; DAS, D. N.; KATAKTALWARE, M. A. Infrared thermal imaging of udder skin surface temperature variations to monitor udder health status in *Bos indicus* (Deoni) cows. **Infrared Physics & Technology**, v. 88, p. 239–244, 2018.

SCHAEFER, A. L.; COOK, N. J.; BENCH, C.; CHABOT, J.B.; COLYN, J.; LIU, T.; OKINE, E. K.; STEWART, M.; WEBSTER, J. R. The non-invasive and automated detection of bovine respiratory disease onset in receiver calves using infrared thermography. **Research in Veterinary Science**, v. 93, p. 928-935, 2012.

SCHAEFER, A. L.; OMINSKI, K. THOMPSON, S.; CROW, G.; BENCH, C.; COLYN, J.; RODAS-GONZALEZ, A.; MAHARJAN, D.; BOLLUM, R.; COOK, N. J.; BASARA, J.; GAZA, H.V. Energy utilization in cattle with steady state and non-steady state methods: the importance of thermal neutrality. **Heliyon**, v. 4, p. e00843, 2018.

SCHMITT, O.; O'DRISCOLL, K. Use of infrared thermography to noninvasively assess neonatal piglet temperature. **Translational Animal Science**, v. 5, p. 1-9, 2021.

SEVEGNANI, K.B.; FERNANDES, D.P.B.; SILVA, S.H.M. Evaluation of thermoregulatory capacity of dairy buffaloes using infrared thermography. **Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering**, v. 6, n. 1, p. 1-12, 2016.

SILVA, E. M. N.; SOUZA, B. B.; SILVA, G. A.; ALCÂNTARA, M. D. B.; CUNHA, M. G. G.; MARQUES, B. A. A. Avaliação da adaptabilidade de caprinos leiteiros com auxílio da precisão termográfica no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Medicina Veterinária**, v. 36, n. 2, p. 231-237, 2014.

SMITH, W. M. Applications of thermography in veterinary medicine. **Annals New York Academy of Sciences**, v. 121, p. 248-254, 1969.

STAJNKO, D.; BRUS, M.; HOCEVAR, M. Estimation of bull live weight through thermographically measured body dimensions. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 61, p. 233–240, 2008.

STEWART, M.; SCHAEFER, A. L.; HALEY, D. B.; COLYN, J.; COOK, N. J.; STAFFORD, K. J.; WEBSTER, J. R. Infrared thermography as a non-invasive method for detecting fear-related responses of cattle to handling procedures. **Animal Welfare**, v. 17, p. 387-393, 2008.

SUMMER, A.; LORA, I.; FORMAGGIONI, P.; GOTTARDO, F. Impact of heat stress on milk and meat production. **Animal Frontiers**, v. 9, n. 1, p. 39-46, 2019.

SUTHERLAND, M. A.; WORTH, G. M.; DOWLING, S. K.; LOWE, G. L.; CAVE, V. M.; STEWART, M. Evaluation of infrared thermography as a non-invasive method of measuring the autonomic nervous response in sheep. **PLoS ONE**, v. 15, n. 5, p. e0233558, 2020.

TALUKDER, S.; KERRISK, K. L.; INGENHOFF, L.; THOMSON, P. C.; GARCIA, S. C.; CELI, P. Infrared technology for estrus detection and as a predictor of time of ovulation in dairy cows in a pasture-based system. **Theriogenology**, v. 81, n. 7, p. 925-935, 2014.

TANGORRA, F. M.; REDAELLI, V.; LUZI, F.; ZANINELLI, M. The use of infrared thermography for the monitoring of udder teat stress caused by milking machines. **Animals**, v. 9, p. 384, 2019.

VICENTINI, R. R.; MONTANHOLI, Y. R.; VERONEZE, R.; OLIVEIRA, A. P.; LIMA, M. L. P.; UJITA, A.; FARO, L. E. Infrared thermography reveals surface body temperature changes during proestrus and estrus reproductive phases in Gyr heifers (*Bos taurus indicus*). **Journal of Thermal Biology**, v. 92, p. 102662, 2020.

YADAV, S. K.; SINGHA, P.; KUMAR, P.; SINGH, S. V.; SINGH, A.; KUMAR, S. Scrotal infrared thermography and testicular biometry: Indicator of semen quality in Murrah buffalo bulls. **Animal Reproduction Science**, v. 209, p. 106145, 2019.

YANG, C., LI, G., ZHANG, X., GU, X. Udder skin surface temperature variation pre- and post-milking in dairy cows as determined by infrared thermography. **Journal of Dairy Research**, v. 85, p. 201-203, 2018.

YOUNG, B. A. Cold stress as it affects animal production. **Journal of Animal Science**, v. 52, n. 1, p. 154-163, 1981.

ZANINELLI, M.; REDAELLI, V.; LUZI, F.; BRONZO, V.; MITCHELL, M.; DELL'ORTO, V.; VALENTINO BONTEMPO, V.; CATTANEO, D.; SAVOINI, G. First evaluation of infrared thermography as a tool for the monitoring of udder health status in farms of dairy cows. **Sensors**, v. 18, p. 862, 2018.

*Recebido em: 2022*

*Aprovado em: 2022*

*Publicado em: 2022*

## **ANEXO B. Artigo científico: Utilização da termografia na detecção de mastite subclínica em búfalas mestiças Murrah × Jafarabadi (*Bubalus bubalis*)**

### **Introdução**

A mastite é uma inflamação da glândula mamária (*mast* = mama; *itis* = inflamação) de origem multifatorial (VIGUIER et al., 2009). Essa doença é uma das principais enfermidades que acomete o gado leiteiro, sendo responsável por perdas econômicas significativas devido à redução da produção e da qualidade do leite (SATHIYABARATHI et al., 2018). A infecção da glândula mamária é causada, principalmente, por bactérias (KHAN e KHAN, 2006). As principais bactérias isoladas do leite de búfalas com mastite pertencem aos gêneros *Staphylococcus* spp., *Streptococcus* spp., *Corynebacterium* spp. e *Escherichia* spp., (ALI et al., 2011; MEDEIROS et al., 2011; SRINIVASAN et al., 2013; MEDEIROS et al., 2013; PIZAURO et al., 2014; SILVA et al., 2014; MOURA et al., 2017; PATEL et al., 2019; MELO et al., 2022a).

De acordo com a sintomatologia da infecção, a mastite pode ser classificada em clínica ou subclínica. A mastite clínica é caracterizada pelo aparecimento visível dos sintomas clínicos característicos de infecção como alteração do leite e da glândula mamária. Por outro lado, a mastite subclínica é assintomática, ou seja, não apresenta sinais clínicos visíveis no leite e/ou na glândula mamária (RADOSTITS et al., 2006), e devido à ausência de sinais clínicos (VIGUER et al., 2009), são necessários testes de diagnósticos de amostras de leite como, por exemplo, o *California mastitis test* (CMT) e a Contagem de células somáticas (CCS).

Apesar da ausência de sinais clínicos visíveis, a mastite subclínica pode causar alterações histológicas relevantes no parênquima da glândula mamária, comprometendo a produção de leite (RADOSTITS et al., 2006), aumentando a CCS e reduzindo a qualidade do leite e dos produtos lácteos (KHAN E KHAN, 2006). Pesquisas apontam que a incidência da mastite subclínica em búfalas é maior que a mastite clínica, podendo variar de 5,46% a 70,0% nos rebanhos (JINGAR et al., 2014; ALI et al., 2014; SILVA et al., 2014; MOURA et al., 2017; ELAHIA et al., 2018; BHUTIA et al., 2019; MELO et al., 2022a).

O diagnóstico da mastite por meio do CMT e CCS demanda por tempo de execução devido à necessidade de coleta do material biológico para teste, e muitas vezes se faz necessário a contenção física dos animais, podendo causar desconforto e estresse aos

mesmos. Além disso, a CCS apesar de ser “padrão ouro” para diagnóstico direto da mastite subclínica, alguns fatores como dificuldade de envio das amostras de material biológico ao laboratório e os custos com as análises impedem sua realização com maior frequência. De acordo com Pampariene et al. (2016), CMT apesar de ter como vantagem avaliar a infecção de vacas por quartos mamários individualmente, tem como fator limitante o aumento dos custos de produção devido à quantidade e preço dos reagentes utilizados, impossibilitando sua aplicabilidade diária em todo o rebanho.

A detecção precoce da mastite é uma importante medida de prevenção das perdas econômicas ao setor devido à redução da produção e qualidade do leite, além de permitir tratamento rápido e eficaz dos animais (SATHIYABARATHI et al., 2018). Nas últimas décadas a tecnologia tem permitido inserir novas ferramentas em diversas áreas da produção animal, visando facilitar o diagnóstico e controle da mastite em animais de fazenda. Dentre essas, a termografia infravermelha (TIV) tem sido uma ferramenta promissora para o diagnóstico de algumas doenças e alterações metabólicas em animais de produção (MELO et al., 2022b). A TIV consiste em um método de diagnóstico não invasivo capaz de detectar o calor superficial de um corpo físico emitido como radiação infravermelha (SATHIYABARATHI et al., 2016), sem a necessidade de contato direto com o animal (MCMANUS et al., 2016). O uso de biossensores que permitem o bem-estar animal proporciona benefícios sociais, de saúde, ambientais e econômicos (NEETHIRAJAN et al., 2017).

A temperatura corporal é um importante indicador para diagnóstico e compreensão de aspectos fisiológicos devido à estreita relação entre temperaturas anormais e processos inflamatórios (POIKALAINEN et al., 2012; NÄÄS et al., 2014). A avaliação e monitoramento em tempo real da saúde animal produz um impacto direto na produtividade animal (NEETHIRAJAN et al., 2017). Portanto, a TIV permite identificar precocemente animais doentes, tornando o tratamento e isolamento desses animais mais rápido, potencializando o diagnóstico, controle da doença e manutenção da saúde do rebanho.

A TIV é capaz de registrar variações térmicas na superficial da pele do úbere acometido pela mastite devido ao aumento do fluxo sanguíneo (EDDY et al., 2001; BERRY et al., 2003; MARTINS et al., 2012; LUZI et al., 2013) e a resposta inflamatória, os quais estão associados à elevação da temperatura na região afetada (BERRY et al. 2003). Vários estudos têm mostrado resultados promissores da TIV no diagnóstico de mastite em vacas (BERRY et al., 2003; COLAK et al., 2008; PORCIANATO et al., 2009; POLAT et al., 2010; DIGIOVANI et al., 2016; CHACUR et al., 2016; GOLZARIAN et

al., 2017; BYRNE et al., 2018; ZANINELLI et al., 2018; SATHIYABARATHI et al., 2018), búfalas (SURIBBI et al., 2022), ovelhas (MARTINS et al., 2012; CASTRO-COSTA et al., 2014) e cabras (MARTINS et al., 2012; SUTHERLAND et al., 2020; PULIDO-RODRÍGUEZ et al., 2021).

Apesar da importância das búfalas para a cadeia leiteira, a maioria das pesquisas com aplicação da TIV é conduzida na espécie bovina, tornando escasso esse tipo de estudos em búfalas. Isso reflete os baixos avanços tecnológicos empregados na bubalinocultura leiteira quando comparado à bovinocultura de leite. Portanto, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a capacidade da TIV no diagnóstico de mastite subclínica em búfalas leiteiras por meio da associação entre temperaturas infravermelhas da superfície da pele do úbere e testes convencionais de detecção de mastite CMT e CCS, sugerindo um método de diagnóstico e controle de mastite rápido e menos oneroso em búfalas leiteiras.

## RESUMO

A mastite é uma inflamação da glândula mamária de origem multifatorial, causada principalmente por bactérias, acarretando perdas econômicas para todo o setor da produção de lácteos. Em geral, o controle e diagnóstico da mastite em fazendas é oneroso e demorado, em virtude da demanda por análises laboratoriais e outros procedimentos que impactam financeiramente esse setor. O diagnóstico por imagem por termografia infravermelha (TIV) tem se tornado promissor na medicina veterinária, por ser um método não invasivo e sem necessidade de contato direto e contenção do animal, sendo capaz de detectar as variações térmicas corporais associadas aos processos inflamatórios, como febre e alterações fisiológicas. O objetivo da presente pesquisa foi avaliar a eficiência da TIV para a detecção de mastite subclínica em búfalas leiteiras, fazendo-se a associação entre as imagens infravermelhas da superfície do úbere e os resultados dos testes convencionais para diagnóstico de mastite: Contagem de células somáticas (CCS) e *California Mastitis Test* (CMT). Foram avaliados 266 quartos mamários de búfalas leiteiras mestiças (Murrah × Jafarabadi). As imagens termográficas foram obtidas dos quartos: posterior direito (QPD) e posterior esquerdo (QPE). Para a obtenção das imagens termográficas foi utilizada uma câmera termográfica modelo FLIR TG165<sup>®</sup>. O diagnóstico da mastite subclínica foi realizado por CMT e CCS. Foram realizadas análises descritivas da CCS e temperatura infravermelha da superfície do úbere (TIVSU). Foram realizadas análises de correlação de Pearson entre CCS, CMT e TIVSU, além da regressão linear entre a CCS e TIVSU. A sensibilidade e especificidade da TIVSU, considerando-se duas categorias de indicação de mastite por CCS:  $>200 \times 10^3$  cel/mL e  $>400 \times 10^3$  cel/mL usando o pacote Receiver Operating Characteristic (ROC) software MedCalc. Os resultados do CMT mostraram que 61,28% (n=163) dos quartos mamários avaliados (n=266) eram sadios (CMT=0), enquanto 38,27% (n=103) apresentaram mastite subclínica (CMT= 1+, 2++ e 3+++). As médias de CCS ( $\times 10^3$  cel/mL) e TIVSU (°C) de acordo com cada categoria de CMT foram: 55,86 e 32,85 (CMT = 0); 509,35 e 33,52 (CMT = 1+); 1032,26 e 34,32 (CMT = 2++); 2839,48 e 34,83 (CMT = 3+++). As correlações foram positivas entre TIVSU/CCS (r=0,58) e TIVSU/CMT (r=0,60), ( $P < 0,0001$ ). Os valores (%) de sensibilidade, especificidade e acurácia do teste foram 68,93 e 80,37 e 80,70%, respectivamente, considerando-se os quartos com CCS  $> 200 \times 10^3$  cel/mL) com mastite subclínica. Enquanto, considerando-se que os quartos com CCS  $> 400 \times 10^3$  cel/mL tenham mastite subclínica, os valores (%) de sensibilidade, especificidade e acurácia do teste foram 79,52%, 79,78% e 86,00%, respectivamente. A TIV foi capaz de detectar alterações na superfície da pele do úbere das búfalas causadas pela mastite subclínica. A relação significativa e positiva entre os indicadores de mastite subclínica (CMT e CCS) e os valores preditivos de sensibilidade, especificidade e eficácia do teste indicaram que essa tecnologia é uma ferramenta promissora e não invasiva para o diagnóstico precoce de mastite subclínica em búfalas leiteiras.

**Palavras-chave:** *Bubalus bubalis*, Contagem de Células Somáticas, *California Mastitis Test*, imagens térmicas, especificidade, sensibilidade.

## ABSTRACT

Mastitis is an inflammation of the inflammation of the mammary gland of origin, causing multifunctionality mainly for the entire dairy production sector. In general, mastitis diagnosis control is expensive on farms, due to the demand for laboratory tests and other procedures that financially affect this sector. Diagnostic imaging by infrared thermography (IRT) has become promising in veterinary medicine, as it is a non-invasive and non-method of direct contact and containment of the animal need, being able to determine the thermal variations indicated as red fever to inflammation processes, and physical changes. The aim of the present research was to evaluate the efficiency of IRT for the detection of subclinical mastitis in dairy buffaloes, making the association between the infrared images of the udder surface and the results of the conventional tests for the diagnosis of mastitis: Somatic cell count (SCC) and California Mastitis Test (CMT). A total of 266 mammary quarters of crossbred dairy buffaloes (Murrah × Jafarabadi) were evaluated. Thermographic images were obtained from the quarters: right hindquarters (RBR) and left hindquarters (LBR). Thermal imaging and milk samples were taken at 60-day intervals between the years 2021 and 2022. Samples were obtained before the morning milking. To obtain the thermographic images, a thermographic camera model FLIR TG165<sup>®</sup>. The diagnosis of subclinical mastitis was performed by CMT and SCC. Descriptive analyzes of SCC and udder surface skin temperature (USST) were performed according to each CMT score (0, 1+, 2++ and 3+++). Pearson's correlation analyzes were performed between CCS, CMT and USST. The sensitivity and specificity of IRT, considering two categories of indication of mastitis by CCS:  $>200 \times 10^3$  cell/mL and  $>400 \times 10^3$  cell/mL using the Receiver Operating Characteristic (ROC) package, MedCalc software. The CMT results showed that 61.28% (n=163) of the evaluated mammary quarters (n=266) were healthy (CMT=0), while 38.27% (n=103) had subclinical mastitis (CMT= 1+, 2++ and 3+++). The means of SCC ( $\times 10^3$  cell/mL) and USST ( $^{\circ}$ C) according to each CMT category were: 55.86 and 32.85 (CMT = 0); 509.35 and 33.52 (CMT = 1+); 1032.26 and 34.32 (CMT = 2++); 2839.48 and 34.83 (CMT = 3+++). Correlations were positive between: USST/SCC (r=0.58) and USST/CMT (r=0.60), ( $P < 0.0001$ ). The values (%) of sensitivity specificity and accuracy were 68.93, 80.37 and 80.70%, respectively, considering the quarters with SCC  $>200 \times 10^3$  cell/mL with subclinical mastitis. Whereas, considering that the quarters with SCC  $>400 \times 10^3$  cel/mL have subclinical mastitis, the values (%) of sensitivity, specificity and accuracy were 79.52%, 79.78%, and 86.00%, respectively. IRT was able to detect alterations in the surface of the skin of the udder of buffaloes caused by subclinical mastitis. The significant and positive relationship between the subclinical mastitis indicators (CMT and SCC) and the predictive values of sensitivity, specificity and efficacy of the test indicated that this technology is a promising and non-invasive tool for the early diagnosis of subclinical mastitis in dairy buffaloes.

**Keywords:** *Bubalus bubalis*, Somatic cell count, California mastitis test, milk production, thermal images.

## Material e métodos

### Local do experimento e informação dos animais

A pesquisa foi realizada em 133 búfalas leiteiras mestiças (Murrah × Jafarabadi) pertencentes a uma fazenda comercial localizada no Estado de Alagoas. O presente estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética de Uso Animal da Universidade Federal de Alagoas (CEUA/UFAL - Nº 26/2019). A fazenda apresenta altitude aproximada de 10 metros, coordenadas geográficas de 9° 10'06''S e 35° 33'40''W e clima tropical chuvoso, de acordo com a classificação de Köppen. O sistema de manejo da fazenda consistia na realização de duas ordenhas diárias (manhã e tarde) em ordenhadeira mecânica do tipo espinha de peixe com balde ao pé. Antes da ordenha as búfalas permaneciam na sala de espera, onde recebiam banho de chuveiro e, posteriormente, antes da entrada na sala de ordenha, eram submetidas ao banho de imersão em tanque de água.

Os animais apresentavam diferentes estágios de lactação e reprodutivo. Para o banco de dados dos animais foram coletas as seguintes informações zootécnicas: identificação, data de nascimento, nome do pai, nome da mãe, identidade do pai, identidade da mãe; estágio reprodutivo dos animais (novilha vazia, novilha prenhe, búfala vazia, búfala prenhe), data do último parto, tipo de cobertura (inseminação artificial em tempo fixo ou monta natural), data de coleta de campo; produção de leite e período de lactação. No presente estudo, os testes preliminares de detecção de mastite clínica por meio da caneca de fundo preto também foram realizados. Os resultados indicaram que 2,0% das búfalas apresentaram mastite clínica, sendo excluídas do experimento, uma vez que o objetivo do experimento é o diagnóstico de búfalas com mastite subclínica.

Durante o experimento, os animais foram mantidos em sistema semi-intensivo em pastagem de *Brachiaria humidicola* e com oferta de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) triturada no cocho e enriquecida com uréia (10,0g de uréia/kg de cana). Além disso, foram fornecidos suplementação mineral e ração balanceada nas seguintes proporções: búfalas com produção entre 5 e 7,5 L de leite/dia recebem 1,0 kg de ração/dia e com produção entre 8 e 10,5 L de leite/dia de 2 kg de ração/dia. O manejo reprodutivo consiste em inseminação em tempo fixo (IATF).

## Dados meteorológicos

As informações meteorológicas de temperatura do ar (TA, °C) e umidade relativa do ar (UR%) foram mensuradas a cada 10 minutos durante a coleta das imagens térmicas, utilizando um termômetro digital modelo Valley GT® instalado a 2,0 metros de altura da sala de ordenha (CHACUR et al., 2017).

## Registros das imagens termográficas

Durante o período experimental todos os registros das imagens termográficas foram realizados pelo mesmo operador. Antes dos registros das imagens, os animais foram submetidos por período de adaptação de duas semanas, cujo objetivo foi adaptá-los ao manejo, operador e aparelho termográfico como proposto por CHACUR et al. (2018), com adaptações. O experimento foi conduzido entre os anos de 2021 e 2022 com intervalos de 60 dias entre as coletas. As imagens termográficas foram registradas das seguintes regiões anatômica: superfície da pele dos quartos posteriores direitos (QPD) e superfície da pele dos quartos posteriores esquerdos (QPE), totalizando 266 quartos mamários (Figura 1 A e B). As mensurações térmicas foram realizadas nos animais em posição de estação, e quando necessário, a cauda foi retirada da frente do ângulo de captura da câmera (BERRY et al. 2003).

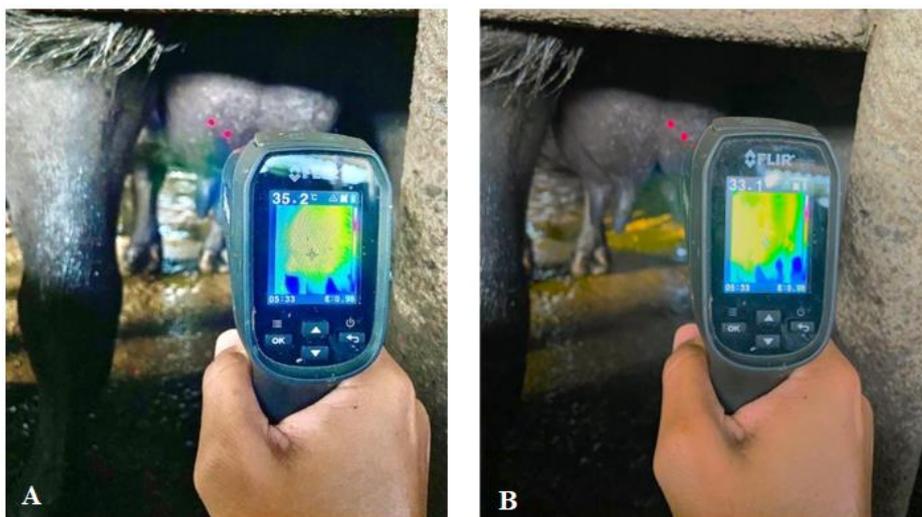


Figura 1. Registro das imagens térmicas da superfície da pele do quarto posterior esquerdo (A) e quarto posterior direito (B).  
Fonte: O AUTOR (2023).

Para reduzir o estresse dos animais e possível alteração na temperatura superficial da pele do úbere, a captura das temperaturas infravermelhas foi realizada antes dos testes

CMT e da coleta das amostras de leite para CCS (CHACUR et al., 2018). Devido ao manejo empregado na fazenda como banho por aspersão e imersão dos animais antes de entrar na sala de ordenha, os registros térmicos foram realizados após aproximadamente 20 minutos da entrada dos animais na sala de ordenha, para que a temperatura da superfície da pele do úbere voltasse à temperatura inicial (temperatura do úbere antes do banho por aspersão e imersão) como proposto por Sathiyabarathi et al. (2018), com adaptações.

As imagens térmicas foram capturadas utilizando uma câmera termográfica modelo FLIR TG 165<sup>®</sup>. Este modelo apresenta resolução infravermelha de  $80 \times 60$  pixels, precisão de  $\pm 2.0^{\circ}\text{C}$  e sensível às mudanças de temperatura de  $0,05^{\circ}\text{C}$ , com variação de temperatura de  $-20$  a  $350^{\circ}\text{C}$  (Figura 15). A câmera termográfica FLIR TG165<sup>®</sup> preenche a lacuna entre um único ponto termômetros infravermelhos e as lendárias câmeras termográficas da FLIR. Equipado com micro sensor térmico Lepton<sup>®</sup> exclusivo da FLIR, o TG165<sup>®</sup>, permite que o calor invisível seja visualizado e registrado com eficácia (FLIR, 2022).

A câmera infravermelha foi calibrada com emissividade de 0,98 ideal para estudo de tecido animal (SEVEGNONI et al., 2016; DALTRO et al., 2017; SCHAEFER et al., 2018; SATHIYABARATHI et al., 2018). As imagens foram capturadas em escala de cor do violeta ao branco, capturadas à uma distância de 0,50 m com ângulo de  $90^{\circ}$  da superfície da pele do úbere (CHACUR et al., 2016), e direcionado para regiões com pouca vascularização, aproximadamente na porção central de cada quarto da glândula mamária como proposto por Berry et al. (2003) e Colak et al. (2008), com adaptações (Figura 2).

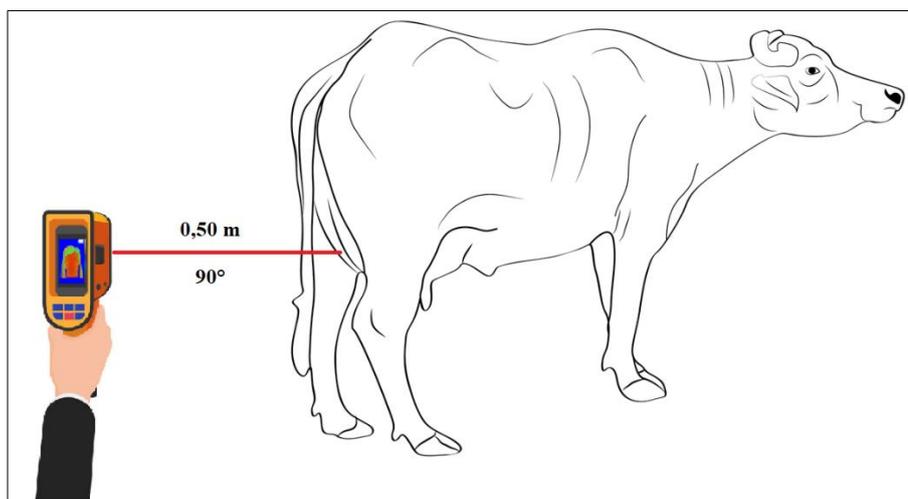


Figura 2. Esquema do posicionamento, distância, ângulo e direcionamento do laser infravermelho durante os registros das imagens termográficas.

Fonte: O AUTOR (2023).

## **Testes de diagnóstico para mastite subclínica**

### ***Californian Mastitis Test***

Para a identificação de búfalas com mastite subclínica, os animais foram examinados por meio do CMT. O teste consiste na adição de 1 mL de leite de cada quarto mamário diretamente em um dos quatro compartimentos da bandeja própria para CMT devidamente identificado. Em seguida foi adicionado 1 mL de reagente específico para CMT no mesmo compartimento. Em seguida realizou-se a mistura do leite com o reagente, realizando movimentos circulares suaves durante 1 minuto, e posteriormente realizou-se a interpretação dos resultados (SCHALM e NOORLANDER, 1957). A interpretação dos resultados foi baseada de acordo com as características de viscosidade do gel formado após a mistura pelo método de Whily et al. (2005), com adaptações, em que: escore 0 = reação negativa, 1(+) = reação fracamente positiva, 2(++) = reação moderadamente positiva e 3(+++) = reação fortemente positiva. Animais com escores 1(+), 2(++) e/ou 3(+++) são classificados como doentes (mastite subclínica).

### **Contagem de células somáticas**

Para a identificação dos animais com mastite subclínica, amostras de 50 mL de leite completo do QPD e QPE de cada búfala foram coletadas para a CCS (PIZAURO et al., 2014), com adaptações. As amostras foram coletadas em frascos estéreis contendo conservante Bronopol® e em seguida encaminhadas à Clínica do Leite – Piracicaba/SP para a realização da contagem das células em aparelho eletrônico Somacount 300 por citometria de fluxo, como recomendado pela International Dairy Federation [IDF] (1995).

### **Análises estatísticas**

#### **Análises descritivas e correlações**

Em análises preliminares, verificou-se que não houve efeito significativo entre as temperaturas do ar (TA, °C), umidade relativa do ar (UR%) e TIVSU (°C) dos quartos mamários (QPE=133, QPD=133) entre os diferentes meses de coletas pelo teste de comparação de média SNK (*Student-Newman-Keuls*). Também não foi registrado efeito significativo dos quartos mamários (QPE=133, QPD=133) para os indicadores de mastite: CMT ( $P < 0,90$ ) e CCS ( $P < 0,34$ ) e para a temperatura infravermelha ( $P < 0,52$ ). Portanto,

os quartos mamários foram avaliados em conjunto, sendo as imagens infravermelhas de ambos os quartos mamários denominadas temperatura infravermelha da superfície do úbere (TIVSU). Foram realizadas análises descritivas e de associação entre as variáveis CCS, CMT e TIVSU por meio da Correlações de Pearson. A significância foi realizada aplicando o teste SNK ( $P < 0,05$ ). As análises estatísticas foram realizadas utilizando o programa estatístico R (versão 4.1.0, 2022).

### **Análises de sensibilidade e especificidade da TIV**

Para avaliar a capacidade preditiva da TIV em detectar a mastite subclínica foi realizada uma análise de regressão logística por meio da curva ROC (*Receiver Operating Characteristics*). Os valores de sensibilidade, especificidade, razão de máxima verossimilhança positiva, razão de máxima verossimilhança negativa e acurácia da área ROC (AUC) foram obtidos para a TIVSU de acordo com os resultados dos testes de CMT e CCS (POLAT et al., 2010; ALSAAOD et al., 2014; ZANINELLI et al., 2018a; ZANINELLI et al., 2018b; SATHIYABARATHI et al., 2018; YANG et al., 2018; HARRIS-BRIDGE et al., 2018; TANGORRA et al., 2019). Para obtenção da curva ROC foi utilizado o software MedCalc (Versão 20.115, MedCalc software, Mariakerke, Belgium, 2022). A sensibilidade e a especificidade da TIV no presente estudo foram calculadas considerando-se dois níveis de CCS e um nível de CMT para classificação dos quartos mamários com mastite subclínica e quartos mamários saudáveis (Tabela 1).

Tabela 1. Níveis de classificação dos quartos mamários de búfalas mestiças (Murrah x Jafarabadi) como saudáveis ou com mastite subclínica

Quartos saudáveis	Quartos com mastite subclínica
$CCS \leq 200 \times 1000 \text{ cel./mL}$	$CCS > 200 \times 1000 \text{ cel./mL}$
$CCS \leq 400 \times 1000 \text{ cel./mL}$	$CCS > 400 \times 1000 \text{ cel./mL}$
CMT = 0	CMT = 1

Fonte: O AUTOR (2023).

## **Resultados**

### **Dados meteorológicos**

As informações de temperatura do ambiente (TA, °C) e umidade relativa do ar (UR, %) durante as coletas de dados estão apresentados na Tabela 2. As médias de TA durante os

meses de coleta variaram de 22,6°C e 27,0°C, enquanto as médias da UR variaram de 72,0% a 92,0%. As maiores média para TA foram registradas nos meses de maio e junho de 2021. Entretanto, não houve efeito significativo entre as TIVSU, CCS e CMT dos quartos mamários avaliados (QPE=133, QPD=133) nos diferentes meses de experimento.

Tabela 2. Estatística descritiva dos dados meteorológico temperatura ambiente (TA, °C) e umidade relativa do ar (UR, %) mensuradas durante os anos de 2021 e 2022

Mês/ano	Maio/2021		Junho/2021		Setembro/2021	
	TA (°C)	UR (%)	TA (°C)	UR (%)	TA (°C)	UR (%)
Média	24,15	78,33	24,35	87,00	23,75	88,66
Min.	22,60	72,00	22,80	85,00	23,00	86,00
Máx.	27,00	90,00	27,00	90,00	25,50	91,00

	Janeiro/2022		Maio/2022		Setembro/2022	
	TA (°C)	UR (%)	TA (°C)	UR (%)	TA (°C)	UR (%)
Média	23,87	89,33	24,3	88,00	24,45	88,52
Min.	23,10	88,00	23,40	85,00	23,60	85,35
Máx.	25,70	92,00	25,60	90,00	25,60	90,00

Não houve efeito significativo entre as TA e UR entre os diferentes meses de coletas pelo teste de comparação de média SNK ( $P < 0,05$ ).

Fonte: O AUTOR (2023).

### Análise descritiva

Os resultados mostraram que 38,72% (n =103) dos quartos mamários foram diagnosticados como sadios (CMT=0), enquanto 61,28% (n=163) foram diagnosticados com mastite subclínica (escore CMT = 1+, 2++ e 3+++). Dos quartos mamários doentes (n=163), a maior proporção foi diagnosticada com escore CMT 1+ (38,03%), seguido dos escores 2++ (32,51%) e 3+++ (29,44%) (Tabela 3). As médias de CCS dos quartos mamários de acordo com o escores de CMT foram:  $55,86 \times 10^3$  cel/mL (escore = 0);  $509,35$  (escore = 1+);  $1032,26 \times 10^3$  cel/mL (escore = 2++) e  $2839,48 \times 10^3$  cel/mL (escore = 3+++) (Tabela 3).

Tabela 3. Estatística descritiva da Contagem de células somáticas (CCS  $\times 10^3$  cel/mL) e temperatura infravermelha da superfície do úbere (TIVSU, °C) distribuídos por escore de *Californian Mastitis Test* (CMT)

Medidas descritivas	Escore CMT							
	0		1+		2++		3+++	
	CCS	TIRVU	CCS	TIVSU	CCS	TIVSU	CSS	TIVSU
Média	55,86	32,85	509,35	33,52	1032,26	34,32	2839,48	34,83
Desvio Padrão	48,10	1,04	160,50	0,92	420,34	0,41	1952,44	0,51
Min	9,00	30,90	201,00	32,00	520,00	32,60	1019,00	34,00
Máx	136,00	34,80	734,00	35,40	2038,00	35,20	7411,00	35,80
CV (%)	86,10	3,20	31,50	2,76	40,72	1,50	68,76	1,48
Número de quartos	103		62		53		48	

Fonte: O AUTOR (2023).

De acordo com os escores CMT, as médias de TIVSU dos quartos mamários foram 32,85°C (escore = 0), 33,52°C (escore = 1+), 34,32°C (escore = 2++) e 34,83°C (escore = 3+++), variando de 30,90°C a 35,8°C (Tabela 3). As figuras 2 mostra as fotografias, imagens infravermelhas e suas temperaturas infravermelhas do úbere sadio. Enquanto as figuras 3 mostra as fotografias e as imagens infravermelhas com suas respectivas temperaturas infravermelhas da superfície do úbere com mastite subclínica.

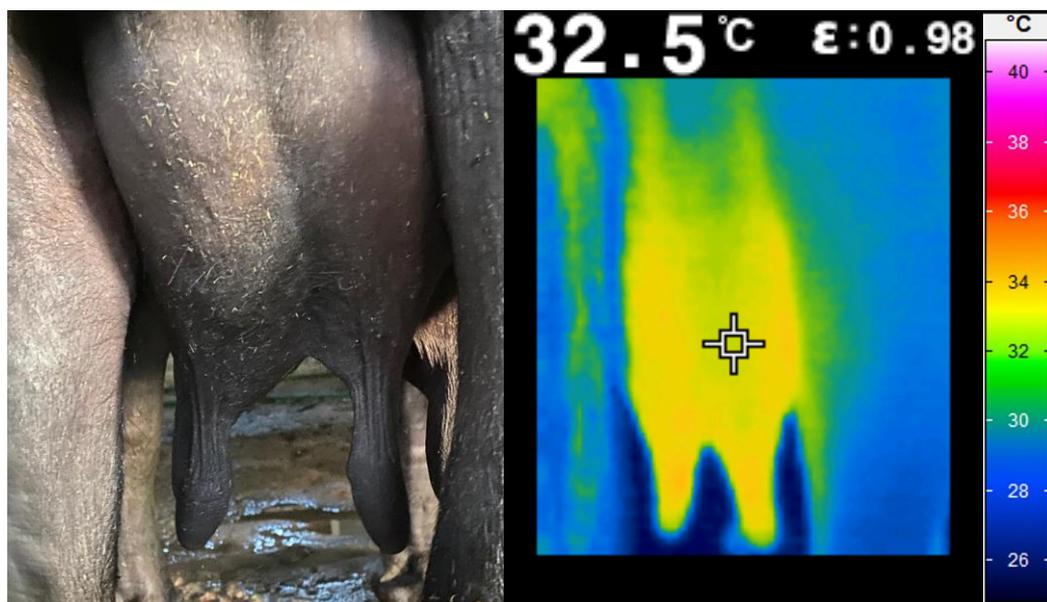


Figura 2. Fotografia do úbere sadio (à esquerda); Imagem infravermelha e temperatura infravermelha da superfície do úbere sadio (à direita).

Fonte: O AUTOR (2023).

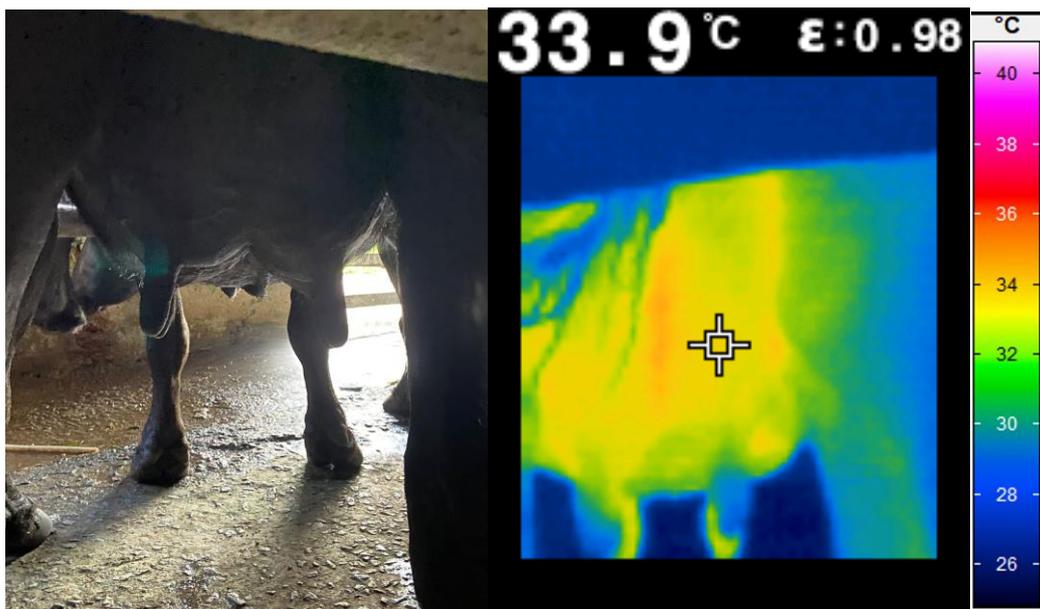


Figura 3. Fotografia do úbere com mastite subclínica (à esquerda); Imagem infravermelha e temperatura infravermelha da superfície do úbere com mastite subclínica (à direita).  
Fonte: O AUTOR (2023).

As médias de TIVSU diferiram significativamente ( $P = 0,05$ ) entre os escores CMT = 0, 1(+), 2(++) e 3(+++) (Figura 4). O escore 3(+++) apresentou o maior valor médio para TIVSU (34,83°C) (Tabela 3). Os resultados mostraram que as variações térmicas entre os quartos mamários saudáveis (escores = 0) e doentes (1+, 2++ e 3+++) foram de 0,66°C; 0,47°C e 1,98°C, respectivamente. As correlações entre TIVSU e os testes CMT e CCS foram 0,60 e 0,52, respectivamente ( $P < 0,0001$ ). A maior correlação registrada foi entre CCS e CMT (0,74).

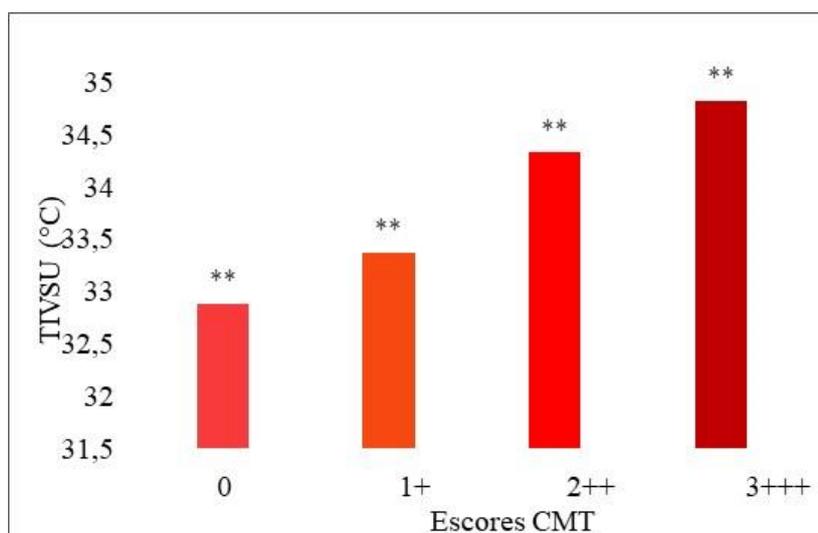


Figura 4. Médias da temperatura infravermelha da superfície do úbere (TIVSU) de búfalas saudáveis (escore CMT=0) e búfalas com mastite subclínica (escore CMT=1+, 2++ e 3+++). \*\*médias diferiram significativamente pelo teste de SNK ( $P < 0,05$ ).  
Fonte: O AUTOR (2023).

## Sensibilidade e especificidade da termografia infravermelha na detecção de mastite subclínica

As médias para TIVSU foram de 32,87°C e 34,09°C, considerando-se os quartos mamários sadios com  $CCS \leq 200 \times 10^3$  cel/mL e os quartos mamários com mastite subclínica com  $CCS > 200 \times 10^3$  cel/mL, respectivamente (Tabela 4). Os resultados mostraram uma variação térmica de 1,22°C na média da TIVSU nos quartos mamários com mastite subclínica, comparado aos quartos mamários sadios.

Considerando-se os quartos mamários sadios ( $CCS \leq 400 \times 10^3$  cel/mL) e os quartos mamários com mastite subclínica ( $CCS > 400 \times 10^3$  cel/mL), as médias de TIVSU foram 32,90°C e 34,31°C, respectivamente (Tabela 4). Nessa faixa de classificação, houve uma variação térmica de 1,41°C da TIVSU dos quartos mamários com mastite subclínica quando comparado com os quartos mamários sadios.

Tabela 4. Médias, desvio padrão e variação térmica da CCS e TIVSU dos quartos mamários sadios ( $CCS \leq 200 \times 10^3$  cel/mL ou  $CCS \leq 400 \times 10^3$  cel/mL) e com mastite subclínica ( $CCS > 200 \times 10^3$  cel/mL ou  $> 400 \times 10^3$  cel/mL) das búfalas em estudo

Variável	N	CCS ( $\times 10^3$ cel/mL)	TIVSU (°C)
		Média (desvio padrão)	Média (desvio padrão)
$\leq 200$	163	56,59 (47,43)	32,87 (1,03)
$> 200$	103	1350,36 (1533,78)	34,09 (0,93)
			1,22 <sup>1</sup>
$\leq 400$	183	82,00 (87,04)	32,90 (1,01)
$> 400$	83	1606,10 (1607,69)	34,31 (0,81)
Total	266		1,41 <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Variação térmica da TIVSU entre os quartos mamários sadios ( $CCS \leq 200 \times 10^3$  cel/mL ou  $CCS \leq 400 \times 10^3$  cel/mL) e com mastite subclínica ( $CCS > 200 \times 10^3$  cel/mL ou  $> 400 \times 10^3$  cel/mL).  
Fonte: O AUTOR (2023).

A sensibilidade, especificidade, razão de máxima verossimilhança positiva e razão de máxima verossimilhança negativa da TIV na detecção de quartos mamários sadios ( $CCS \leq 200 \times 10^3$  cel/mL) e quartos mamários com mastite subclínica ( $CCS > 200 \times 10^3$  cel/mL) foi de 68,93; 80,37; 3,51 e 0,39, respectivamente. A acurácia do teste (AUC) foi de 0,807 (80,70%) com ponto de corte de 33,9°C (Tabela 5, Figuras 5).

A sensibilidade, especificidade, razão de máxima verossimilhança positiva e razão de máxima verossimilhança negativa da TIV em detecção de quartos mamários sadio ( $CCS \leq 400 \times 10^3$  cel/mL) e quartos mamários com mastite subclínica ( $CCS >$

$400 \times 10^3$  cel/mL) foi de 79,52; 79,78; 39,3 e 0,26, respectivamente. A acurácia do teste (AUC) foi de 0,860 (86,00%) com ponto de corte de  $33,9^\circ\text{C}$  (Tabela 5, Figuras 6).

Quando a saúde dos quartos mamários foi classificada por meio do CMT (escore = 0, quartos mamários saudios e escores = 1+, 2++ e 3+++, quartos mamários doentes), a sensibilidade, especificidade, razão de máxima verossimilhança positiva e razão de máxima verossimilhança negativa e AUC da TIV foi 70,75; 75,00; 2,83, 0,39 e 0,791 (79,10%), respectivamente (Tabela 5, Figura 7).

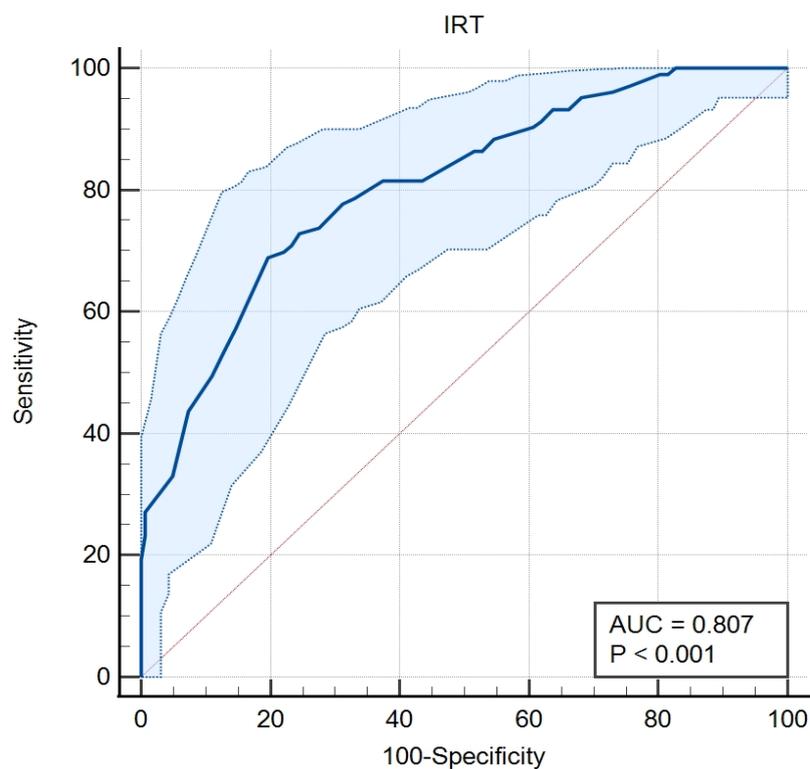


Figura 5. Sensibilidade, especificidade e AUC da TIVSU quando os quartos mamários foram categorizados como saudios ( $\text{CCS} \leq 200 \times 10^3$  cel/mL,  $n = 103$ ) e quartos mamários com mastite subclínica ( $\text{CCS} > 200 \times 10^3$  cel/mL,  $n = 163$ ).

Fonte: O AUTOR (2023).

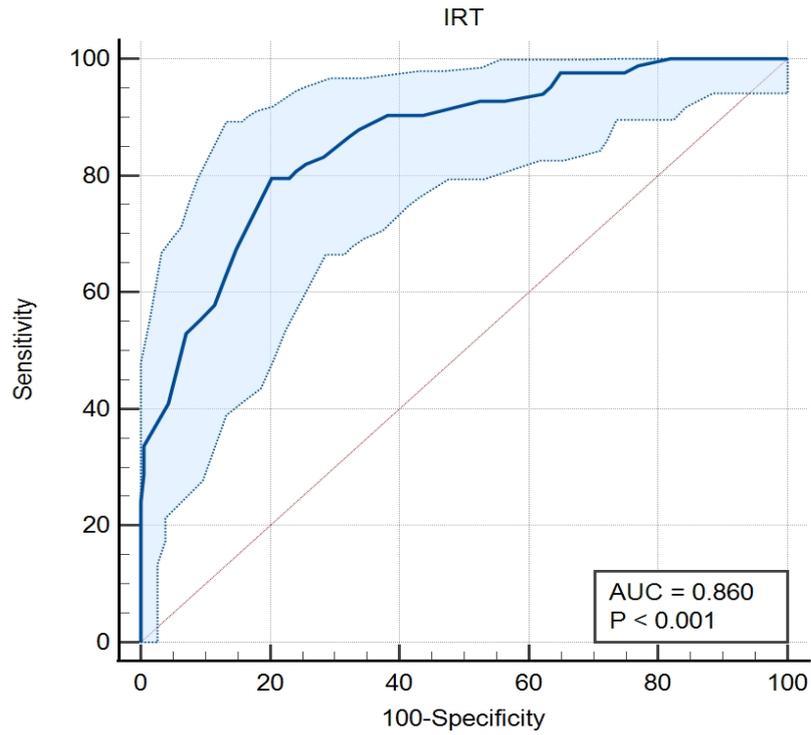


Figura 6. Sensibilidade, especificidade e AUC da TIVSU quando os quartos mamários foram categorizados como saudáveis ( $CCS \leq 400 \times 10^3$  cel/mL, n = 83) e quartos mamários com mastite subclínica ( $CCS > 400$ , n = 183).  
Fonte: O AUTOR (2023).

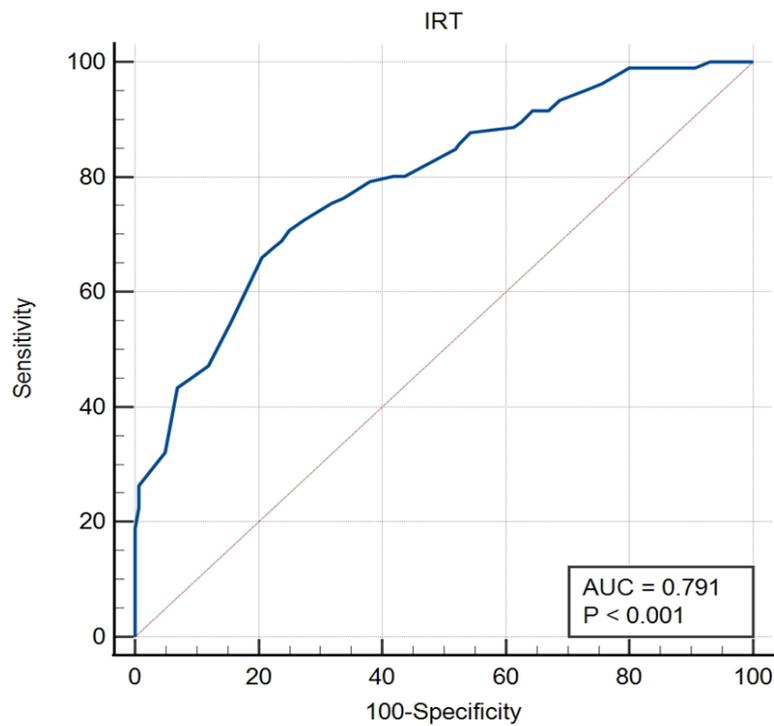


Figura 7. Sensibilidade, especificidade e AUC da TIVSU quando os quartos mamários foram categorizados como saudáveis (CMT = 0, n = 160) e quartos mamários com mastite subclínica (CMT = 1, n = 106).  
Fonte: O AUTOR (2023).

Tabela 5. Sensibilidade, especificidade, razão de máxima verossimilhança positiva e razão de máxima verossimilhança negativa e acurácia da curva ROC (AUC) da TIV em detectar mastite subclínica nas búfalas baseados em CCS > 200×10<sup>3</sup> cel/mL, CCS > 400×10<sup>3</sup> cel/mL e escore CMT = 1 (1+, 2++ e 3+++)

CCS, × 10 <sup>3</sup> cel/mL	Ponto de corte (°C)	Sensibilidade (95% <sup>1</sup> IC)	Especificidade (95% IC)	<sup>2</sup> RMV (95% IC)		AUC (95% IC)
				+	-	
>200 (n = 103 vs, 163)	>33,9	68,93 (59,10 – 77,70)	80,37 (73,40 – 86,20)	3,51 (2,51 – 4,92)	0,39 (0,29 – 0,52)	0,807
>400 (n = 83 vs, 183)	>33,9	79,52 (69,20 – 87,60)	79,78 (73,20 – 85,30)	3,93 (2,89- 5,35)	0,26 (0,17 – 0,39)	0,860
CMT = 1 (n= 106 vs, 160)	>33,6	70,75 (61,10 – 79,20)	75,00 (67,60 – 81,50)	2,83 (2,11 – 3,80)	0,39 (0,29 – 0,53)	0,791

<sup>1</sup>IC, índice de confiabilidade (95%).

<sup>2</sup>RMV, razão de máxima verossimilhança.

Fonte: O AUTOR (2023).

## Discussão

### Análises descritivas

De todos os quartos mamários em estudo 62,28% (n = 163) foram diagnosticados com mastite subclínica detectado pelos testes CMT (Tabela 3). Estudos mostram que as búfalas são mais predispostas à mastite subclínica, cuja incidência pode variar de 5,46% a 70,0% nos rebanhos bubalinos (JINGAR et al., 2014; ALI et al., 2014; SILVA et al., 2014; MOURA et al., 2017; ELAHIA et al., 2018; BHUTIA et al., 2019; MELO et al., 2022a).

A CCS é considerada o padrão-ouro para o diagnóstico direto de mastite subclínica no gado leiteiro. CCS acima de  $50 \times 10^3$  cel/mL está associada à redução da produção de leite e alterações físico-químicas do leite (HAMANN et al., 2005), resultando em perdas econômicas relevantes devido às alterações físico-químicas e bacteriológicas ocorridas no leite (RADOSTITS et al., 2009). O CMT também é considerado teste padrão-ouro de diagnóstico da mastite subclínica no gado leiteiro, porém, é baseado na leitura indireta da CCS do leite (PAMPARIENE et al., 2016).

No presente estudo observou-se aumento na CCS ( $\times 10^3$  cel/mL) no leite das búfalas com mastite subclínica à medida o escore CMT aumentava (escore 0 = 55,86; escore 1+ = 509,35; escore 2++ = 1032,26 e escore 3+++ = 2839,48) (Tabela 3). Resultados semelhantes foram registrados por Polat et al. (2010) ao revelarem que a CCS ( $\times 10^3$  cel/mL) no leite de vacas aumentou significativamente com o aumento do escore CMT em que: escore 0 (65), 1+ (430) e 2++ (1236) e 3+++ (3650). Outros estudos também verificaram maiores valores para CCS no leite de vacas com mastite subclínica quando comparado ao leite de animais sadios (SATHIYABARATHI et al., 2018; ZANINELLI et al., 2018a; ZANINELLI et al., 2018b).

Esse resultado é esperado, e pode ser explicado pelo fato de que quanto maior o escore CMT maior será o grau de inflamação e descamação epitelial da cisterna do úbere e, conseqüentemente, maior o número de células somáticas do leite (RADOSTITS et al., 2009). Além disso, quanto maior o grau de inflamação maior o extravasamento de fluidos dos vasos sanguíneos e de células de defesa para úbere principalmente de neutrófilos, provocado pelo processo infeccioso e resposta imune da glândula mamária, com o objetivo de destruir o mais rápido possível os patógenos invasores, elevando o número de células somáticas no leite (TIZARD, 2014).

A CCS do leite de búfalas é um dos parâmetros mais importante para produção de queijos de qualidade (SALES et al., 2018). Estudos mostram que a CCS elevada afeta significativamente os componentes do leite e dos padrões de fabricação de queijo de búfala como as propriedades coagulantes do leite e o tempo de coagulação do coalho (TRIPALDI et al., 2003; TRIPALDI et al., 2010).

De acordo com o Regulamento de Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal [RIISPOA] (2002); “Entende-se por leite, sem outra especificação, o produto oriundo da ordenha completa, ininterrupta, em condições de higiene, de vacas sadias, bem alimentadas e descansadas”. Por esse motivo, é fundamental a realização de práticas de controle e diagnóstico de mastite no gado leiteiro, de modo a reduzir os riscos de consumo de alimento que possam causar prejuízos à saúde humana.

A indústria de laticínios não utiliza leite de búfala com alta CCS (COBIRKA et al., 2020), principalmente em países desenvolvidos (SAHIN et al., 2011), pelo fato de que  $CCS > 200 \times 10^3$  cel/mL pode ser um indicativo de infecção da glândula mamária (CERÓN-MUÑOZ et al., 2002; PICCININI et al., 2006; MARONI et al., 2006; TRIPALDI et al., 2010; MEDEIROS et al., 2011; PIZAURO et al., 2014; PATIL et al., 2015), representando um potencial risco de contaminação por micro-organismos, toxinas bacterianas (KHAN e KHAN, 2006; RADOSTITS et al., 2006) e resíduos de antibióticos no leite (COBIRKA et al., 2020), comprometendo a segurança alimentar (SHARMA et al., 2011).

As alterações nos componentes do leite comprometem a produção, a qualidade (KHAN e KHAN, 2006; TRIPALDI et al., 2007; TRIPALDI et al., 2011) e o tempo de prateleira dos produtos lácteos (SAHIN et al., 2017). Por estes motivos, a indústria de lácteos italiana preconiza um limite de até  $200 \times 10^3$  cel/mL no leite de búfala para considerar como animal sadio (SOLLECITO et al., 2011), enquanto países da União Europeia e Suíça estabelecem valor de até  $400 \times 10^3$  cel/mL (SAHIN et al., 2011) no leite de búfalas, para que o leite seja processado. De acordo com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento [MAPA] (2008), no Brasil não existe uma padronização para CCS no leite de búfalas, entretanto, a indústria brasileira estabelece limite máximo de  $500 \times 10^3$  cel/mL para o gado leiteiro em geral.

No presente estudo, a TIV foi capaz de registrar diferenças térmicas da superfície da pele do úbere das búfalas de acordo com o escore CMT. As médias de TIVSU dos quartos mamários foram de  $32,85^\circ\text{C}$  (escore = 0),  $33,52^\circ\text{C}$  (escore = 1+),  $34,32^\circ\text{C}$  (escore = 2++) e  $34,83^\circ\text{C}$  (escore = 3+++). A TIV mostrou que a temperatura dos úberes doentes

foi em geral mais alta que a temperatura de úberes saudáveis (Tabela 5), sugerindo que quanto maior o grau de inflamação da glândula mamária, maior a TIVSU das búfalas com mastite subclínica.

A capacidade da TIV de capturar variações térmicas da superficial da glândula mamária, está associada pelo fato que no início da mastite a resposta inflamatória provoca um aumento da temperatura no local da infecção (BERRY et al., 2003; SARUBBI et al., 2020), devido ao aumento do fluxo sanguíneo na região afetada (EDDY et al., 2001; BERRY et al., 2003; MARTINS et al., 2012; LUZING et al., 2013). À medida que a resposta inflamatória é ativada, citocinas vasoativas e pró-inflamatórias como o Fator de necrose tumoral -  $\alpha$  (TNF- $\alpha$ ), interleucina 1 (IL-1) e interleucina 6 (IL-6) são produzidas. Essas citocinas desencadeiam alterações nas células que revestem os pequenos vasos sanguíneos, causando o aumento da permeabilidade vascular e do fluxo sanguíneo para o tecido lesionado (TIZARD, 2014), desencadeando os cinco sinais cardeais da inflamação como rubor (vermelhidão), calor (aumento do calor), tumor (inchaço), dor e perda de função tecidual (SARUBBI et al., 2020). Além disso, a TIV é capaz de identificar alterações que ainda não causaram sinais clínicos em indivíduos aparentemente saudáveis (MARCHES et al., 2013), como no caso da mastite subclínica, sendo portanto um método promissor de diagnóstico precoce da doença.

Vários estudos utilizando a TIV para diagnosticar a mastite em animais leiteiros têm sido reportados na literatura. Scott et al. (2000), induzindo a mastite por meio da introdução de endotoxina bacteriana na glândula mamária, verificaram que a TIV foi capaz de detectar um aumento de 2,30°C na TIVSU de animais doentes mais precoce quando comparado ao teste de CCS. Em outro estudo, Pampariene et al. (2016) relataram que TIV registrou variações entre a termografia infravermelha da superfície da pele dos tetos de vacas saudáveis e de vacas com mastite subclínica, e que o diagnóstico da mastite subclínica foi semelhantes ao registrado pelo CMT. Ainda de acordo com esses autores, a TIV pode detectar a mastite bovina no estágio inicial da inflamação de modo sensível, portátil, rápido e de fácil aplicação para triagem e detecção da doença,

Polat et al. (2010) ao avaliar a capacidade da TIV em detectar a mastite subclínica em vacas, também registraram maiores valores para TIVSU à medida que o grau de CMT aumentou 33,23°C (escore = 0), 34,64°C (escore = 1), 35,73°C (escore = 2), e 36,27°C (escore = 3). Pezeshki et al. (2011) avaliando o potencial da TIV em detectar alterações da TIVSU após a introdução de *Escherichia coli* intra-mamária em vacas, reportaram que a TIV foi capaz de detectar alterações de 2°C a 3°C na TIVSU. Entretanto, os autores

relataram que o aumento da temperatura do úbere ocorreu após o aparecimento de sinais clínicos, indicando que a TIV não foi eficiente para a detecção precoce de mastite causada por *E. coli*. Em outro estudo, Golzarian et al. (2017) observaram uma diferença de 0,44°C na média da temperatura entre úberes saudáveis e úberes doentes de vacas leiteiras, concluindo que a TIV foi capaz de detectar pequenas diferenças na TIVSU.

Usando a TIV, Martins et al. (2012) também registraram maiores TIVSU de ovelhas com mastite subclínica quando comparado a úberes de ovelhas com mastite clínica ou saudáveis, concluindo que a TIV é uma técnica promissora, principalmente, na detecção de mastite subclínica em ovelhas. Ainda de acordo com os autores, a menor temperatura dos úberes com mastite clínica pode estar associada ao processo crônico da doença refletindo uma menor temperatura na região afetada do que em tecidos afetados pela mastite subclínica.

Nogueira et al. (2013) registraram que nos úberes de ovelhas saudáveis a temperatura era 1,24°C mais alta que nos úberes de ovelhas com mastites (1,20°C). De acordo com os autores, esse resultado pode estar associado ao estágio crônico da doença, registrada nos animais em estudo, na qual apresentaram menor temperatura devido ao processo de substituição e recuperação do tecido mamário danificado. Em outro estudo, Castro-Costa et al. (2014) também não obtiveram êxito na detecção da variação térmica entre ovelhas com mastite clínica, mastite subclínica ou saudáveis usando a TIV após a infusão intra-mamária de *Escherichia coli*.

No presente estudo, as correlações entre CCS e TIVU (0,58) e entre TIVSU e CMT (0,60) ( $P < 0,0001$ ) foram significativas e positivas. Este resultado indicou que à medida que o escore CMT aumentou houve um aumento na CCS ( $\times 10^3$  cel/mL) do leite. Comportamento semelhante foi registrado entre CMT e TIVSU em que: à medida que o escore de CMT aumentou a TIVSU também aumentou, sendo a maior variação térmica registrada para o escore CMT 3(+++). Estes resultados indicam que a TIV pode ser promissora na detecção da mastite subclínica de búfalas leiteiras. Estudos avaliando a capacidade da TIV em detectar mastite em búfalas são escassos. Entretanto, Sarubbi et al. (2020), investigando as possibilidades da TIV em detectar possível caso de mastite subclínica em búfalas leiteiras, registraram correlação significativamente e positiva ( $R^2 = 0,640$ ;  $P < 0,001$ ) entre a TIVSU e os diferentes níveis de CCS, sugerindo que a TIV pode ser usada para a detecção precoce de mastite subclínica na espécie bubalina.

Em estudo, Polat et al. (2010) também encontraram correlações positivas entre TIVSU e CCS (0,73) e entre TIVSU e CMT (0,86). Em outro estudo, Colak et al. (2008)

verificaram forte correlação (0,92) entre a TIVSU e escores CMT, indicando que a TIV foi sensível na detecção das alterações da TIVSU em diferentes graus de infecção mamária. Por outro lado, Byrne et al. (2018) encontraram baixa correlação entre TIVSU e CCS, sugerindo que somente a TIV não poderia ser usada como uma ferramenta automatizada para detectar quartos mamários com alta CCS em vacas leiteiras em sistema de pastejo.

No presente estudo, as temperaturas médias da TIVSU registradas foram de 32,87°C (quartos mamários sadios) e 34,09°C (quartos mamários doentes) considerando ponto de corte de  $CCS \leq 200 \times 10^3$  cel/mL e  $CCS > 200 \times 10^3$  cel/mL, respectivamente. A temperatura média dos quartos mamários doentes registrada foi de 1,22°C mais alta que a temperatura dos quartos mamários sadios, enquanto a TIVSU de 34,40°C (quartos mamários sadios) e 36,08°C (quartos mamários doentes) foram registradas considerando-se quartos mamários sadios e quartos mamários doentes com ponto de corte de  $CCS \leq 400 \times 10^3$  cel/mL e  $CCS > 400 \times 10^3$  cel/mL, respectivamente, no qual registrou temperatura média dos quartos mamários doentes de 1,41°C mais alta que a temperatura dos quartos mamários sadios (Tabela 10).

Sarubbi et al. (2020) verificaram que búfalas classificadas como sadias ( $CCS \leq 300 \times 10^3$  cel/mL) e com mastite subclínica ( $CCS > 300 \times 10^3$  cel/mL), apresentaram TIVSU médias de 37,21°C e 39,57°C, respectivamente, indicando que a TIVSU de búfalas com mastite subclínica foi superior a TIVSU de búfalas sadias. Em outro estudo, CHACUR et al. (2018) registraram variações térmicas da superfície do úbere de búfalas em diferentes períodos de desenvolvimento da glândula mamária por meio da TIV.

Em um estudo conduzido por Zaninelli et al. (2018b), médias superiores de TIVSU foram registradas para quartos mamários sadios (34,19°C) e quartos mamários doentes (35,79°C) em vacas leiteiras ao considerar ponto de corte de  $CCS \leq 200$  e  $> 200 \times 10^3$  cel/mL, respectivamente, e que a TIVSU dos quartos mamários doentes era 1,60°C maior que a TIVSU dos quartos mamários sadios. Enquanto ao considerar quartos mamários sadios com  $CCS \leq 400 \times 10^3$  cel/mL e quartos mamários doentes com  $CCS > 400 \times 10^3$  cel/mL, o mesmo estudo revelou um aumento de 1,68°C da TIVSU nos quartos mamários saudáveis (34,40°C) em comparação com quartos mamários afetados (36,08°C).

Digiovani et al. (2016), avaliando a capacidade da TIV como ferramenta de diagnóstico não invasiva de mastite subclínica e sua associação com CMT em vacas leiteiras, registraram diferença significativas entre as temperaturas médias dos quartos mamários sadios (31,00°C) e quartos mamários com mastite subclínica (32,35°C), concluindo que a TIV pode ser uma ferramenta promissora para diagnóstico de mastite em

vacas leiteiras. Em outro estudo, Golzarian et al. (2017), avaliando a viabilidade do uso da TIV no diagnóstico de mastite em gado leiteiro, registraram diferença de 0,44°C na média da TIVSU entre úberes saudáveis e úberes doentes com precisão de detecção de 57,3%.

Sathiyabarthi et al. (2018) registraram resultado semelhante ao avaliar vacas com mastite subclínica em que a média para TIVSU foi de 37,61°C em úberes com mastite subclínica, os quais apresentaram temperatura superficial 1,51°C mais alta que na superfície da pele dos úberes de vacas sadias.

### **Sensitividade e especificidade da termografia infravermelha na detecção de mastite subclínica**

Para avaliar a eficácia da TIV em detectar doenças é necessário determinar o desempenho do teste. Na maioria das avaliações aplica-se a sensibilidade, especificidade e eficiência do teste (COOK e SCHAEFER, 2013). Para isso, as curvas ROC são empregadas com esse propósito, visando determinar a aplicabilidade de medições ou testes diretos e/ou indiretos para triagem de doenças (POLAT et al., 2010). As temperaturas infravermelhas são combinadas com outros métodos convencionais ou “padrão ouro” de avaliação da saúde dos animais (COOK e SCHAEFER, 2013), que no presente estudo foram avaliados os indicadores CMT e CCS para diagnóstico de mastite.

A precisão das tecnologias de medições térmicas infravermelhas é importante para mensurar as temperaturas irradiadas. O animal homeotérmico ativa todos os mecanismos de termorregulação necessários para manter a temperatura corporal central constante. Para isso, são utilizados outros mecanismos de perda térmica, incluindo energia irradiada na faixa do infravermelho. Assim, quando um animal apresenta-se com uma condição de doença, a temperatura central geralmente será a última a sofrer alteração, porém, ocorrerá mudanças em outros mecanismos de dissipação de calor (SCHAEFER e COOK, 2013).

No presente estudo, ao considerar que búfalas com  $CCS > 200 \times 10^3$  cel/mL foram positivas para mastite subclínica, a sensibilidade, especificidade e AUC registradas foi de 68,93%, 80,37% e 80,70%, respectivamente. Por outro lado, ao considerar búfalas com  $CCS > 400 \times 10^3$  cel/mL, a sensibilidade, especificidade e AUC foram 79,52%, 79,78% e 86,00%, respectivamente. Já ao considerar búfalas com mastite subclínica com CMT = 1, a sensibilidade, especificidade e AUC foram 70,75%, 75,00% e 79,10%, respectivamente (Tabela 4). De acordo com a literatura, esses resultados podem ser considerados satisfatórios, uma vez que quanto mais próximo de 100% melhor a eficiência do teste

(POLAT et al., 2010; ALSAOD et al., 2014; ZANINELLI et al., 2018a; ZANINELLI et al., 2018b; SATHIYABARATHI et al., 2018; YANG et al., 2018; HARRIS-BRIDGE et al., 2018; TANGORRA et al., 2019).

A sensibilidade do teste consiste em avaliar a capacidade da TIV em capturar a temperatura mais provável da região do objeto em estudo (COOK e SCHAEFER, 2013), indicando a frequência com que uma situação fisiológica é detectada quando de fato ocorre (PEREZ MARQUES et al., 2019). A sensibilidade da TIV em detectar estado febril do úbere é provavelmente porque o fluxo sanguíneo está mais próximo da superfície (NG et al., 2004). No caso da mastite, a sensibilidade é a capacidade da TIV em detectar da inflamação do úbere. Por outro lado, a especificidade consiste na capacidade do teste evitar classificar erroneamente casos saudáveis (sadios) como casos não saudáveis (doentes) (POLAT et al., 2010), ou seja, quando animais sadios são classificados como animais doentes. A eficiência do teste, determinado pela área da curva ROC (AUC) pode variar de 0 – 1,0 ou de 0 – 100% a qual determina a acurácia do teste. Quanto mais próxima de 1,0 maior a precisão da TIV em detectar realmente casos saudáveis e casos doentes em que: 0,90 – 1,0 excelente precisão; 0,80 – 0,90 boa; 0,70 – 0,80 regular; 0,60 – 0,70 ruim e 0,50 – 0,60 falha (SATHIYABARATHI et al., 2018). Portanto, no presente estudo, o melhor desempenho preditivo da TIV em detectar mastite subclínica das búfalas em estudo, foi obtida quando aplicado o ponto de corte de  $CCS > 400 \times 10^3$  cel/mL, uma vez que mostrou sensibilidade e especificidade próximas à 80,0% e acurácia do teste de 86,0%.

Maior variação térmica foi registrada por Polat et al. (2010) ao verificarem que TIVSU de vacas mastísticas era 2,30°C mais alta que úberes de vacas saudáveis. Os autores também encontraram maiores valores de sensibilidade (95,6%) e especificidade (93,6%) do teste, considerando úberes com mastite subclínica com  $CCS > 400 \times 10^3$  cel/mL, e sensibilidade (83,5%) e especificidade (100%), considerando úberes com mastite subclínica com  $CCS > 200 \times 10^3$  cel/mL. Enquanto para CMT a sensibilidade, especificidade e acurácia foram de 88,9%, 98,9% e 98,5%, respectivamente, concluindo que a TIV foi suficiente para detectar alterações térmicas na superfície da pele do úbere causadas pela mastite subclínica em vacas leiteiras.

Sathiyabarthi et al. (2018) avaliando a capacidade preditiva da TIV no diagnóstico da mastite subclínica em vacas, registraram sensibilidade variando de 54,07% a 100% e especificidade variando de 69,15% a 100%, respectivamente, concluindo que a TIV foi sensível em detectar alterações térmicas da superfície do úbere associadas à doença e que

pode ser usada como um potencial diagnóstico não invasivo de triagem para detecção de mastite subclínica de vacas leiteiras.

Resultado semelhante ao presente estudo foi registrado por Zaninelli et al. (2018a) em que reportaram uma possível associação entre CCS e saúde do úbere de vacas leiteiras, os quais encontraram valores de sensibilidade, especificidade e acurácia de 73,0%, 71,9% e 80,1%, respectivamente, considerando um nível de CCS de  $200 \times 10^3$  cel/mL. Em outro estudo, Zaninelli et al. (2018a) reportaram sensibilidade e especificidade na classificação de saúde do úbere de 78,6% e 77,9%, respectivamente, considerando um nível de CCS de  $200 \times 10^3$  cel/mL como determinante para mastite subclínica, e sensibilidade e especificidade de 71,4% e 71,6%, respectivamente quando o limite de  $400 \times 10^3$  cel/mL foi aplicado.

Tangorra et al. (2019), avaliando capacidade da TIV de detectar alterações de cor de tetos de vacas leiteiras devido ao estresse provocado por ordenhadeira mecânica, registraram variações de sensibilidade (5,60% a 54,30%) e especificidade (54,40% a 59,20%) para os indicadores de temperatura média infravermelha dos tetos, enquanto para os indicadores de temperatura máxima infravermelha dos tetos a sensibilidade e especificidade variaram de 56,50% a 60,90% e de 59,70% a 61,80%, respectivamente. De acordo com os autores, os baixos valores de sensibilidade e especificidade podem não justificar o desenvolvimento de um termógrafo para o monitoramento do estresse de tetos em vacas provocado por ordenhadeira mecânica. Porém, pode ser aplicado como avaliação preliminar do estresse dos tetos de vacas causado por ordenhadeiras mecânicas.

Devido à ordenha diária do gado leiteiro, a realização de medições contínuas pode ser feitas e comparadas com medições anteriores no mesmo animal ou entre os animais do mesmo rebanho. Além disso, a realização de múltiplas medições da temperatura infravermelha do úbere em rebanhos leiteiros pode melhorar o desempenho do diagnóstico da mastite devido ao fornecimento de uma melhor avaliação da resposta termorreguladora frente ao desafio fisiológico e à infecção (COOK e SCHAEFER, 2013). Portanto, a TIV apresenta vantagens como a avaliação em tempo real de um grande número de animais, e que pode ser utilizada por produtores e veterinários como uma ferramenta de vigilância de doenças no rebanho (SCHAEFER et al., 2012), principalmente aquelas associadas às alterações da microcirculação, inflamação e alterações no metabolismo e sistemas de termorregulação, fornecendo uma boa sensibilidade e pode ser usada sem anestesia e sem causar nenhum estresse aos animais, promovendo forte impacto no bem-estar animal e nas medidas de prevenção de doenças (MARCHES et al., 2013).

No presente estudo a TIV, em ambos os cortes de CCS ( $200 \times 10^3$  cel/mL e  $400 \times 10^3$  cel/mL), foi capaz de registrar variações da TIVSU das búfalas e quanto maior a CCS maior a TIVSU com mastite subclínica (Tabela 10). Esses resultados mostram que a capacidade preditiva da TIV pode variar de acordo com a CCS do leite, onde a sensibilidade aumentou à medida que a CCS aumentou. Por outro lado, a especificidade do teste diminuiu à medida que a CCS aumentou.

Os resultados do presente estudo podem ser considerados satisfatórios como uma ferramenta promissora para o monitoramento de variações térmicas de úberes com mastite subclínica de búfalas leiteiras em fazendas, assim como os resultados defendidos por outros estudos sobre o uso da TIV como uma possível tecnologia de avaliação rápida e não invasiva da saúde do úbere.

## **Conclusões**

A termografia infravermelha foi capaz de detectar alterações na superfície da pele do úbere das búfalas causadas pela mastite subclínica. A relação significativa e positiva entre os indicadores de mastite subclínica (CMT e CCS) e os valores preditivos de sensibilidade, especificidade e eficácia do teste indicaram que essa tecnologia é uma ferramenta promissora e não invasiva para o diagnóstico precoce de mastite subclínica em búfalas leiteiras. Portanto, a TIV pode contribuir para o controle e monitoramento da saúde do úbere de búfalas nas mesmas condições de produção leiteira em estudo.

## **Referências Bibliográficas**

Barbosa, L.T. et al. Associação entre qualidade da carne e características quantitativas de suínos por meio de correlação canônica. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, v.11, n.4, p.1150-1162, 2010. Disponível em: <http://www.rbspa.ufba.br>. Acesso em: 30 Set., 2017.

Barbosa, L. et al. Seleção de variáveis de desempenho de suínos por meio da análise de componentes principais. *Arquivo Brasileiro de Medicina veterinária e Zootecnia*, Viçosa, v.57, n.6, p. 805-810, 2005

Bernardes, O. Bubalinocultura no Brasil: situação e importância econômica. *Rev Bras Reprod Anim*, v.31, p.293-298, 2007.

Berry, R. J., A. D. Kennedy, S. L. Scott, B. L. Kyle, and A. L. Schaefer. Daily variation in the udder surface temperature of dairy cows measured by infrared thermography: Potential for mastitis detection. *Can. J. Anim. Sci.* 83:687–693, 2003

Brito, A.R; Demiciano, M.E, Martello, L.S. Temperatura de superfície corporal obtida por termografia e sua associação com a frequência respiratória de vacas lactantes. Zootec, Santos-SP, 2017.

Carneiro, A. V.; Stock, L. A.; Oliveira, V. M.; Zoccal, R.; Carvalho, G. R.; Martins, P.C.; Yamaguchi, L.C.T. Mastite clínica: prevalência e custo de tratamento em rebanho leiteiro, 2004, Disponível em: <http://www.cileite.com.br>. Acessado 12/01/2019

Chacur, M.G.M. Termografia por infravermelho na reprodução de bubalinos. Rev. Bras. Reprod. Anim., Belo Horizonte, v.41, n.1, p.180-187, jan./mar. 2017. Disponível em [www.cbra.org.br](http://www.cbra.org.br)

Chacur, M.G.M.; Souza, C.D.; Bastos, G.P. et al. Fatores climáticos e bem-estar em bovinos: enfoque na reprodução e lactação. In: Silva, A.L.C.; Benini, S.M.; Dias, L.S. (Eds.). Fórum ambiental - uma visão multidisciplinar da questão ambiental. 2.ed. Tupã: Associação Amigos da Natureza da Alta Paulista - ANAP. p.253-270, 2016

Chacur, M.G.M; Dantas, A; Oba, E; Ruediger, F.R; Oliveira, R.A; Bastos, G.P; Jorge, A.M. Avaliação termográfica do desenvolvimento mamário de búfalas e sua regulação endócrina em distintos estágios fisiológicos. Arq. Bras. Med. Vet. Zootec., v.70, n.2, p.450-456, 2018

Colak, A.; Polat, B.; Okumus, Z.; Kaya, M.; Yanmaz, L.E.; Hayirli, A. Short Communication: Early detection of mastitis using infrared thermography in dairy cows. J. Dairy Sci., v. 91, p. 4244–4248, 2008

Cruz, C.D.; Regazzi, A.J.; Carneiro, P.C.S. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. 3. ed. Viçosa, editora: Universidade Federal de Viçosa, v.1, p.193-201, 2004

Daltro, D.S. et al. Infrared thermography as a method for evaluating the heat tolerance in dairy cows. R. Bras. Zootec., 46(5):374-383, 2017

Demeu, F.A.D; Lopes, M.A; Da Costa G.M; Da Rocha, C.M.B.G; Dos Santos, G. Efeito da produtividade diária de leite no impacto econômico da mastite em rebanhos bovinos. B. Indústria Anim., Nova Odessa, v.73, n.1, p.53-61, 2016

Dias, R.V.C. Principais métodos de diagnóstico e controle da mastite bovina. Acta Veterinária Brasileira, Mossoró, v.1, n.1, p.23-27, 2007. Disponível em: <<http://caatinga.ufersa.edu.br/index.php/acta/article/viewFile/255/95>>, Acesso em: 04/02/ 2019

Draper, N.R.; Smith, H. Applied regression analysis: wiley series in probability and statistics. 3. ed. Canadá, editora: Wiley, p. 697, 1998

Eddy, A. L., L. M. van Hoogmoed, and J. R. Snyder. 2001. Review: The role of thermography in the management of equine lameness. Vet. J. 162:172–181

Ferreira, D.F. Estatística Multivariada. Viçosa, editora: Universidade de Lavras, p. 662, 2008

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. Rebanho mundial. 2017. Disponível em: <<http://www.faostat3.fao.org>>. Acesso em: 20/01/ 2018.

Golzarian, M.R. Soltanali, H. Doosti, I.O and Ebrahimi, S.H. Possibility of Early Detection of Bovine Mastitis in Dairy Cows Using Thermal Images Processing. *Iranian J Applied Anim Sci.*, v. 7(4), p. 549-557, 2017

Hair Júnior, F. *Multivariate data Analysis*. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009, p.688.

Harris-Bridge, G; Young, L; Handel, L; Farish, M; Mason, G; Mitchell M.A, Haskell, M.J. The use of infrared thermography for detecting digital dermatitis in dairy cattle: What is the best measure of temperature and foot location to use?. *Vet J.* p, 237:26-33, 2018, doi: 10.1016/j.tvjl.2018.05.008.

Instituto brasileiro de geografia e estatística – IBGE. 2015. Diretoria de Pesquisas, Coordenação e Agropecuária, Pesquisa da Pecuária Municipal. Disponível em: [www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/ppm/2014/default\\_xls\\_shtm](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/ppm/2014/default_xls_shtm). Acesso em: 05 de janeiro de 2019.

Jolliffe, I.T. Discarding variables in a principal component analysis. I: Artificial. *Journal of the Royal Statistical Society*, 1972, Series C (Applied Statistics), vol.21, n.2 p.160-173.

Jolliffe, I.T. Discarding variables in a principal component analysis. II: Real data. *Journal of the Royal Statistical Society*, 1973, v.22, n.1, p.21-31.

Knížková, I.; Kunc, P.; Gurdil, G. A. K.; Pinar, Y. and Selvi, K. C. Applications of infrared thermography in animal production. *Journal of the Faculty of Agriculture* v. 22, p. 329-336, 2007

Kunc, R., I. Knížková, M. Příkryl, and J. Maloun. Infrared thermography as a tool to study the milking process: A review. *Agricultura Tropica et Subtropical*, v. 40, p. 29–32, 2007

Kutner, M.H. et al. *Applied Linear Statistical Models*. 5. ed. Boston, editora: McGraw-Hill, p.1396, 2004.

Langoni, H. et al. Milk cellularity and colony forming units in mastitis caused by coagulase-positive staphylococci and coagulase negative. *Pesquisa Veterinária Brasileira*, v.35, n.6, p.518-524, 2015.

Ludwig N., Gargano M., Formenti D., Bruno, Ongaro L., Alberti G. Breathing training characterization by thermal imaging: a case study. *Acta of Bioengineering and Biomechanics*, Vol. 14, Issue 3, p. 42-47, 2012

Luzi, F.; Mitchell, M.; Costa, L.N.; Redaelli, V. *Thermography: current status and advances in livestock animals and in veterinary medicine*. Brescia, Italy: Fondazione Iniziative Zooprofilattiche e Zootecniche, 2013

Martins, R.F.S.; do Prado Paim, T.; de Abreu Cardoso, C.; Stéfano Lima Dallago, B.; de Melo, C.B.; Louvandini, H.; McManus, C. Mastitis detection in sheep by infrared thermography. *Res. Vet. Sci.*, v. 94, p. 722–724, 2013

McManus, C.; Tanure, C.B.; Peripolli, V.; Seixas, L.; Fischer, V.; Gabbi, A.M.; Menegassi, S.R.O.; Stumpf, M.T.; Kolling, G.J.; Dias, E.; et al. Infrared thermography in animal production: An overview. *Comput. Electron. Agric.*, p. 123,10–16, 2016

Ménard, O; Ahmad, S; Raousseau, F et al. Buffalo vs. cow milk fat globules: Size distribution, zeta-potential, compositions in total fatty acids and in polar lipids from the milk fat globule membrane. *Food Chemistry*; v120; p.544-551; 2010

Metzner, M.; Sauter-Louis, C.; Seemueller, A.; Petzl, W.; Zerbe, H. Infrared thermography of the udder after experimentally induced *Escherichia coli* mastitis in cows. *Vet. J.*, v. 204, p. 360–362, 2015

Neethirajana, S; S.K; Huangb, S.T; Keltonc, D. Recent advancement in biosensors technology for animal and livestock health management. *Biosensors and Bioelectronics*, v. 98, p. 398–407, 2017

Nogueira, F.R.B.; Souza, B.B.; Carvalho, M.G.X. et al. Termografia infravermelha: uma ferramenta para auxiliar no diagnóstico e prognóstico de mastite em ovelha. *Revista Brasileira de Medicina Veterinária*, v.35, p.289-297, 2013.

Paiva, A.L.C. et al. Análise de componentes principais em características de produção de aves de postura. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.39, p.285-288, 2010

Polat. B. et al. Sensitivity and specificity of infrared thermography in detection of subclinical mastitis in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, v.93, n.8, p.3525-3532, 2010

Porcionato, M.A.F.; Canata, T.F.; De Oliveira, C.E.L.; Santos, M.V. Dos Udder Thermography of Gyr Cows for Subclinical Mastitis Detection/Termografia Do Úbere De Vacas Gir Para Detecção De Mastite Subclínica. *Rev. Bras. Eng. Biosistemas*, v.3, p. 251, 2009.

Protásio, T.P. et al. Análise de correlação canônica entre características da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus*. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v.40, n.95, p.317-326, 2012

Rezende, E.S.J. Modelo de detecção de mastite em vacas leiteiras usando termografia infravermelho. Tese apresentada à Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, Campinas/SP. p. 56, 2017

Ribeiro, E. Jr. Califórnia Mastitis Test (CMT) e whiteside como métodos de diagnóstico indireto da mamite subclínica. *Revista Brasileira Saúde e Produção Animal*, v.9, n.4, p.680-686, 2008

Ribeiro, E. Jr. Califórnia Mastitis Test (CMT) e whiteside como métodos de diagnóstico indireto da mamite subclínica. *Revista Brasileira Saúde e Produção Animal*, v.9, n.4, p.680-686, 2008.

Roberto, J.V.B.; Souza, B.B. Utilização da termografia de infravermelho na medicina veterinária e na produção animal. *J. Anim. Behav. Biometeorol.*, v.2, p.73-84, 2014.

Santos, M. V. Controle da mastite ambiental. *Mundo do Leite*, São Paulo, n. 56, p. 16-21, 2012.

Sathiyabarathi, M. et al. Infrared thermography: A potential noninvasive tool to monitor udder health status in dairy cows. *Vet. World*, v. 9, p. 1075–108, 2016

Schaefer, A.L. et al. Energy utilization in cattle with steady state and non-steady state methods: the importance of thermal neutrality. *Heliyon*, v. 4, 2018.

Scott, S. L., Schaefer, A. L., Tong, A. K. W. and Lacasse, P. Use of infrared thermography for early detection of mastitis in dairy cows. Proceedings of the Canadian Society of Animal Science annual meeting. Winnipeg, MB, 2000

Sevegnani, K; Fernandes, D.S.H; Silvia, M.Gorla. Evaluation of thermoregulatory capacity of dairy buffaloes using infrared thermography. Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering, v. 36, p. 1-12, 2016, Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430>

Team R Core Development. R: A Language and Environment for Statistical Computing; R Foundation for Statistical Computing: Vienna, Austria, 2008

Teixeira, V.L; Bastianetto, E; Oliveira, D.A. A. Leite de búfala na indústria de produtos lácteos The water buffalo milk in milky industry. Rev Bras Reprod Anim, Belo Horizonte, v. 29, n. 2, p. 96-100, 2005. Disponível em [www.cbra.org.br](http://www.cbra.org.br)

Zaninelli, M. et al. Development of a software algorithm working with infrared images and useful for the early detection of mastitis in dairy cows. 14th Quantitative InfraRed Thermography Conference, Berlin, Germany, 2018

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A saúde do úbere foi baseada por meio de métodos indiretos de CMT e CCS do leite das búfalas em estudo, e foi verificado que a temperatura da superfície da pele dos úberes com mastite subclínica apresentaram um aumento de 1,21°C e 1,41°C quando comparado com úberes saudáveis para os níveis de CCS  $200 \times 10^3$  cel/mL e  $400 \times 10^3$  cel/mL, respectivamente.

A análise da curva ROC revelou que ao considerar o nível de CCS de  $400 \times 10^3$  cel/mL, a TIV apresentou melhor desempenho e precisão na detecção da mastite subclínica das búfalas, uma vez que mostrou uma sensibilidade e especificidade próximas à 80,0% e eficácia do teste de 86,0%. Por outro lado, a análise da curva ROC revelou que a sensibilidade, especificidade e eficácia do teste (70,75%, 75,00% e 79,10%, respectivamente) foram inferiores ao avaliar a saúde dos úberes por meio dos escores CMT.

Devido aos relevantes impactos econômicos da mastite no gado leiteiro, técnicas eficientes de diagnóstico capazes de identificar o mais rápido possível a doença é cada vez mais necessárias para o controle da mastite em animais de produção. Portanto, é cada vez maior o interesse do uso da TIV na produção animal devido ao crescente interesse da sociedade pelo bem-estar animal que proporcionam benefícios sociais, ambiental e econômico.

O monitoramento da mastite subclínica de búfalas leiteiras pode ser realizada através do uso de câmeras infravermelhas portáteis ou fixas, com uma ampla variação de preço de mercado, instaladas em salas de ordenhas, as quais permitam avaliar os animais em tempo real, possibilitando que decisões sobre tratamento e controle da doença sejam tomadas de maneira rápida, a chamada “Pecuária de precisão”.

Apesar de ser mais utilizada na espécie bovina, a TIV pode ser aplicada em diversas espécies animais e com diferentes finalidades, para substituir os métodos convencionais de diagnóstico de doenças, processos inflamatórios, estágio reprodutivo, qualidade do sêmen, auxílio à seleção, características adaptativas e estresse térmico.

Os custos dos equipamentos termográficos variam de acordo com a precisão e resolução infravermelha. Porém, mais pesquisas devem avaliar a precisão e viabilidade de câmeras infravermelhas de baixa resolução e custos, permitindo facilitar a disponibilidade dessa ferramenta no manejo de búfalas leiteiras. Apesar disso, as câmeras infravermelhas possuem longa durabilidade permitindo seu uso por muitos anos.

Portanto, o presente estudo considerou que a TIV pode ser uma ferramenta promissora de detecção rápida, precoce e eficiente de mastite subclínica em búfalas leiteiras, contribuindo para facilitar o monitoramento e controle da doença nos rebanhos bubalinos por médicos veterinários, zootecnistas e produtores.