

# Termografia infravermelha na detecção de mastite clínica e subclínica em bovinos de leite: comparação entre as raças Girolando e Jersey

## Infrared thermography for detection of clinical and subclinical mastitis in dairy cattle: comparison between Girolando and Jersey breeds

Isabele Pessoa Ribeiro<sup>1</sup> , Pablo Henrique Delai Gonçalves<sup>1</sup> , Manoela Simionato Rodrigues<sup>1</sup> , Guilherme Batista do Nascimento<sup>1</sup> , Rafaela Speranza Baptista<sup>1</sup> , José Ruben Lacerda Calil Filho<sup>1</sup> , Alexandre Wolf<sup>1</sup> , Sandra Helena Gabaldi Wolf<sup>1\*</sup> 

<sup>1</sup>Centro Universitário de Adamantina (UniFAI), Adamantina, São Paulo, Brasil

\*Autor correspondente: [sandra@fai.com.br](mailto:sandra@fai.com.br)

### Resumo

A mastite é uma das doenças mais comuns do gado leiteiro em todo o mundo, ocupando o primeiro lugar, com alta prevalência e incidência. Afeta a produção e a qualidade do leite, diminuindo o retorno econômico e a sustentabilidade da fazenda. A precocidade do diagnóstico e tratamento da mastite é de extrema importância, visando diminuir os danos, tanto para o animal quanto para o produtor e a indústria. A termografia infravermelha (TI) em animais é um método clinicamente útil para detectar alterações fisiopatológicas, por meio de variações térmicas, causadas pela inflamação. Este trabalho objetivou avaliar o potencial da técnica de TI para o diagnóstico de mastite clínica e subclínica em vacas Girolando e Jersey. Foram avaliados 78 quartos de vacas Girolando e 104 de Jersey pertencentes a propriedades rurais de Adamantina e região. As diferenças das intensidades das imagens por TI foram comparadas com as temperaturas do quarto anterior e posterior, em um único ponto central ou área, em relação aos resultados dos testes de Tamis e CMT. Todas as análises foram realizadas no Software R, sendo adotado um nível de significância igual a 5%. Quando a imagem termográfica foi avaliada, o tamanho do efeito foi significativo para raça e para o teste de CMT, porém não para o teste de Tamis. Em conclusão, a TI tem potencial no rastreamento de mastite subclínica nas raças avaliadas, com capacidade diagnóstica preditiva semelhante ao CMT, mas com diferença de temperatura entre elas, sendo equivalentes suas mensurações em ponto ou área da glândula mamária.

**Palavras-chave:** diagnóstico; glândula mamária; imagem térmica; inflamação.

### Abstract

Mastitis is one of the most prevalent diseases in dairy cattle globally, ranking at the top in terms of prevalence and incidence. It impacts milk production and quality, subsequently decreasing economic returns and farm sustainability. Early diagnosis and treatment of mastitis are crucial to mitigate its detrimental effects on both animals and the dairy industry. Infrared thermography (IRT) in animals serves as a clinically relevant method to detect pathophysiological changes, marked by thermal variations caused by inflammation. This study aimed to evaluate the potential of IRT as a diagnostic tool for clinical and subclinical mastitis in Girolando and Jersey cows. We examined 78 udder quarters from Girolando cows and 104 from Jersey cows, all from farms in the Adamantina region. Differences in IRT image intensities were compared with anterior and posterior udder temperatures at a single central point or area, correlating with results from Tamis and CMT tests. All analyses were conducted in R software, with a significance level set at 5%. When evaluating thermographic images, the effect size was significant for the breed and CMT test, but not for the Tamis test. In conclusion, IRT exhibits potential in screening for subclinical mastitis in the evaluated breeds, demonstrating a predictive diagnostic capability similar to the CMT, albeit with a temperature difference between them. Their measurements, whether at a point or an area of the mammary gland, were found to be equivalent.

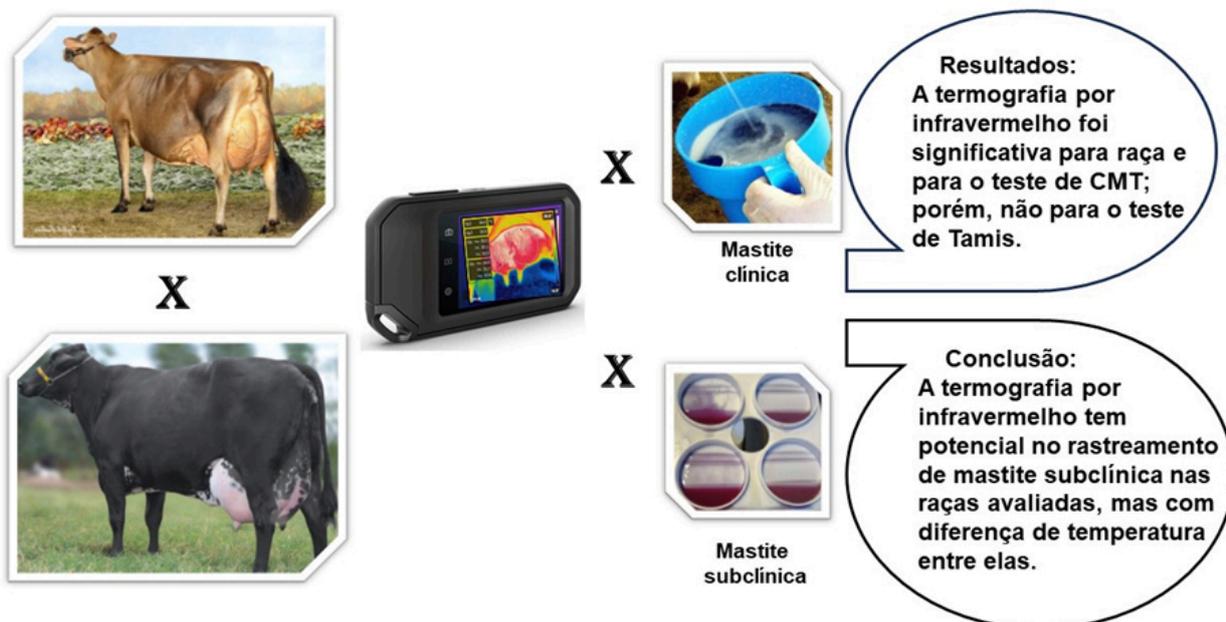
**Keywords:** diagnosis; mammary gland; thermal imaging; inflammation.

Recebido: 5 de julho de 2023. Aceito: 4 de setembro de 2023. Publicado: 11 de outubro de 2023.



Este é um artigo de Acesso Aberto distribuído sob os termos da Creative Commons Attribution License, que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o trabalho original seja devidamente citado.

<https://revistas.ufg.br/vet/index>



**Resumo gráfico** - Termografia infravermelha na detecção de mastite clínica e subclínica em bovinos de leite: comparação entre as raças Girolando e Jersey

## 1. Introdução

A mastite é uma inflamação da glândula mamária, que pode resultar em uma elevação da temperatura da área afetada, seguida de redução da secreção láctea e alteração da permeabilidade da membrana local. A mastite é uma das doenças mais graves na criação de vacas leiteiras, tendo um impacto significativo nos lucros de produção (1-3). Ela pode ser classificada de diversas formas; a mais utilizada é a mastite clínica (com alteração no parênquima mamário e secreção láctea) ou subclínica (não há alterações macroscópicas na glândula e no leite, mas ocorre aumento de células somáticas nele) (2,3).

As mastites clínica e subclínica em bovinos leiteiros geram uma grande perda econômica para os produtores. O monitoramento da mastite clínica é realizado pelo teste de Tamis (caneca preta), enquanto da subclínica, pelo Teste do CMT (*California Mastitis Test*), ambos na sala de ordenha; ou, no laboratório, pela contagem de células somáticas (CCS). Porém, há a necessidade de novos sistemas de diagnóstico capazes de identificar rapidamente vacas acometidas por infecções fora da sala de ordenha, mastites em novilhas e durante o período seco, principalmente a forma subclínica (4).

A termografia infravermelha (TI) está sendo utilizada para o diagnóstico de processos inflamatórios, tanto na medicina humana como na veterinária. A técnica se baseia no princípio de que todos os corpos formados de

matéria emitem certa carga de irradiação infravermelha, proporcional a sua temperatura. Esta irradiação pode ser capturada em um termograma, que expressa o gradiente térmico em um padrão de cores (5,6).

A TI é um método não invasivo para medir o calor irradiado emitido pela pele, refletindo a circulação subcutânea e o metabolismo. Quando há dor (hipersensibilidade), inchaço e hipertermia na fase inicial de uma inflamação e infecção, a temperatura da superfície da pele pode refletir o metabolismo subjacente do tecido-alvo e fluxo sanguíneo (5).

O uso desta nova tecnologia na pecuária tem se mostrado uma ferramenta interessante na pesquisa veterinária, pois é altamente sensível, simples e eficaz para se detectar mudanças de temperatura da superfície da pele (7), mostradas na forma de imagens, que são úteis no diagnóstico de inflamação da glândula mamária com um equipamento portátil não invasivo (8). A TI possui praticidade, precisão, velocidade de coleta de dados e sem a necessidade de contenção, podendo ser utilizada fora da sala de ordenha (9). Hovinen et al. (10) mostraram a capacidade da TI para identificar aumentos de temperatura ( $> 1^{\circ}\text{C}$ ) no úbere de vacas com mastite clínica, induzida experimentalmente por cepas de *E. coli*, sugerindo que o termógrafo poderia avaliar o estado de saúde da glândula mamária pela temperatura da superfície da pele.

Colak et al.<sup>(6)</sup> concluíram em um experimento com vacas Holandesas e Pardo-Suiças e em clima temperado, que a TI é sensível o suficiente para detectar mudanças na temperatura superficial da pele em resposta a vários graus de gravidade da infecção da glândula mamária, conforme refletido pelo escore apresentado para a mastite subclínica detectada pelo CMT. À medida que a pontuação do teste de CMT aumentou, a temperatura da superfície da pele dos quartos se elevou linearmente, sugerindo que, como uma ferramenta não invasiva, a termografia pode ser empregada como triagem de mastite em vacas leiteiras.

Já, Polat et al.<sup>(7)</sup> demonstraram em vacas Pardo-Suiças que as temperaturas da superfície da glândula mamária medidas pela TI foram correlacionadas com a contagem de células somáticas (CCS), associada à mastite subclínica. Os quartos com mastite subclínica apresentaram uma temperatura da superfície da pele 2,35°C maior do que os quartos saudáveis. Com isso, a TI foi sensível para detectar alterações térmicas na pele do úbere causadas por mastite subclínica; Zaninelli et al.<sup>(11)</sup>, em vacas da raça Holandesa, corroboraram com resultados semelhantes. Já, Chakraborty et al.<sup>(12)</sup> observou que a capacidade diagnóstica da TI apresentou semelhança ao teste CMT e conseguiu distinguir a mastite clínica de casos subclínicos, podendo ser considerada um equipamento portátil de diagnóstico.

Silva et al.<sup>(13)</sup>, em vacas Girolando, avaliaram o padrão de variabilidade espacial da temperatura superficial da glândula mamária, com e sem mastite, em clima semiárido. O horário de realização das imagens foi entre às 05h00 e 07h00, três por animal, nos enquadramentos anterolateral direito, anterolateral esquerdo, posterior e inferior. A temperatura média de superfície dos quartos mamários com mastite subclínica apresentou valores maiores ( $33,2 \pm 0,67^{\circ}\text{C}$  e  $34,64 \pm 1,07^{\circ}\text{C}$ ) que os negativos ( $29,3 \pm 1,78^{\circ}\text{C}$  e  $32,24 \pm 0,62^{\circ}\text{C}$ ) e os saudáveis ( $29,3^{\circ}\text{C} \pm 1,78$  e  $31,58^{\circ}\text{C} \pm 0,62$ ). A temperatura da superfície do úbere dos animais com mastite clínica foi mais elevada ( $34,0$  e  $37,5^{\circ}\text{C}$ ) comparativamente aos demais quadros clínicos. Concluíram que a temperatura da glândula mamária é modificada de forma crescente, dependendo do grau da inflamação.

Já, Porcionato et al.<sup>(14)</sup> utilizaram a TI para detecção de mastite subclínica em vacas Gir (*Bos indicus*) de segunda e terceira lactações; a temperatura superficial da glândula foi aferida em três alturas (superior, mediana e inferior) e correlacionada com os testes microbiológicos e células somáticas do leite. A temperatura foi maior na região superior do que nas demais regiões avaliadas. Não houve correlação significativa entre úberes com mastite subclínica ou microbiologia positiva. Desta forma, concluíram que a TI permitiu a identificação de variações de temperatura da superfície da pele em diferentes alturas da glândula mamária de vacas Gir, porém não foi eficaz

no diagnóstico de mastite subclínica.

Bortolami et al.<sup>(4)</sup> encontraram uma correlação ( $p < 0,05$ ) entre o aumento de temperatura da glândula com o uso de imagens TI e a contagem de células somáticas no leite, indicando a TI como uma ferramenta de triagem útil na avaliação de um estado de inflamação da glândula (mastite clínica); porém não confirmaram este mesmo resultado para a mastite subclínica, sugerindo mais investigação nesta área diagnóstica.

Velasco-Bolaños et al.<sup>(15)</sup> avaliaram a temperatura da superfície do úbere pela TI em vacas da raça Holandesa, com o intuito de diagnosticar mastites clínica e subclínica, associando a influência das condições ambientais de regiões tropicais de altitude (Caldas/Colômbia - 2.100m acima do nível do mar). Não foi observada a relação entre as condições ambientais (velocidade do vento, temperatura atmosférica, umidade relativa e índice de temperatura-umidade) sobre a temperatura da superfície da glândula mamária; ainda, concluíram que a TI é uma boa ferramenta para a detecção de mastite clínica, mas não para a subclínica.

Poikalainen et al.<sup>(16)</sup> e Yang et al.<sup>(17)</sup> compararam as temperaturas do úbere antes e após a ordenha, não encontrando diferença significativa entre a temperatura dos quartos do úbere, esquerdo e direito, e concluíram que a temperatura da superfície do úbere não depende da ordenha e quartos mamários; porém, a TI pós-ordenha pode ser influenciada pela produção de leite<sup>(17)</sup>.

Artigos de revisão mostraram a qualidade da TI para diagnosticar mastite e outras patologias, sendo promissor o uso desta tecnologia<sup>(18-20)</sup>, não existindo atualmente nenhum método padronizado para a captura da imagem de TI. No Brasil, com o uso de raças mais adaptadas ao clima e com menor estresse térmico, há necessidade de pesquisas com a TI da glândula mamária para se ter uma conclusão se esta tecnologia é viável para a detecção de mastite clínica e subclínica em clima tropical.

Este trabalho tem grande relevância para reforçar esta metodologia da TI na detecção de mastite clínica e subclínica a campo, de forma rápida e de baixo custo, minimizando os prejuízos na produção leiteira. Ainda, foi observada uma escassez de pesquisas comparando diferença entre raças. Frente a isso, este estudo objetivou avaliar o potencial da tecnologia de imagens por TI, para a detecção de mastite clínica e subclínica, correlacionando com os testes de Tamis e CMT, e averiguar se há diferenças entre as raças Jersey (*Bos taurus*) e Girolando (Holandês-Gir) neste diagnóstico.

## 2. Material e métodos

Este estudo foi aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animal de Experimentação (CEUA/FAI -

protocolo nº 22005). Foram utilizados 102 quartos mamários de vacas da raça Jersey e 78 quartos mamários de vacas Girolando com aptidão leiteira, criadas em sistema semi-intensivo e com ordenha mecânica, em propriedades rurais da região de Adamantina, Estado de São Paulo, Brasil (clima tropical de altitude, temperatura entre 15°C a 32°C - com verão chuvoso e inverno seco), entre os meses de novembro e dezembro de 2022. Nesta pesquisa, o registro da fase da lactação, do número de parições e da produção do leite não foram considerados na avaliação.

Estes quartos foram submetidos ao teste da caneca preta (Teste de Tamis), para a detecção de mastite clínica<sup>(2)</sup>, e ao teste de CMT (*California Mastitis Test*), para a subclínica, usando a classificação descrita por Schalm e Noorlander<sup>(21)</sup>. Como os quartos mamários, dentro de uma mesma glândula, são independentes de circulação sanguínea e inflamação, a unidade experimental foi considerada o quarto mamário; portanto, dentro de uma unidade animal, a temperatura da pele foi mensurada em dois quartos da glândula mamária, do mesmo lado do úbere (anterior e posterior), do lado direito ou esquerdo, conforme a posição do animal na sala de ordenha. A captura das imagens foi realizada no momento da ordenha da manhã (entre 5:00h e 8:00h), antes do pré-*dipping* e dos testes de Tamis e CMT.

O equipamento utilizado foi a câmera termográfica FLIR C5sc, com captura de imagens térmicas de 160 x 120 (19.200 pixels), tecnologia MSX® (*Multi-Spectral Dynamic Imaging*), câmera de luz visível de 5 megapixels. As imagens captadas foram avaliadas pelo software de análise térmica FLIR RESEARCH IR. As imagens térmicas por infravermelho foram obtidas em três tomadas por quarto mamário, colocando-se a câmera entre 50 e 100cm de distância e em um ângulo de 180°. Na edição das imagens, foram utilizados dois parâmetros para a aferição da temperatura: a área do quarto mamário e um ponto central desta área. A imagem dos quartos mamários anterior e posterior foram editadas separadamente, devido os quartos serem independentes entre si.

A temperatura e a umidade relativa do ar foram monitoradas nos dias da coleta de dados, permanecendo na faixa considerada de conforto térmico para vacas leiteiras (Zona de Conforto Térmico: *Bos taurus*: 0 - 16°C; Mestiços: 5 - 31°C<sup>22</sup>), utilizando-se o aplicativo Thermotool™. A análise descritiva das variáveis de temperatura avaliadas no estudo foi realizada considerando os valores de média e desvio-padrão. O efeito do fator raça dentro de cada teste de Tamis e CMT foi obtido por meio da análise de variância com dois fatores independentes (ANOVA-twoway), sendo os contrastes dentro dos fatores obtidos pelo teste de comparações múltiplas de Bonferroni<sup>(23)</sup>. O modelo estatístico utilizado na análise de variância é representado

pela equação:

$$y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

em que:  $y_{ij}$  = é o valor da variável dependente para a observação na interseção do  $i$ -ésimo nível do primeiro fator e do  $j$ -ésimo nível do segundo fator;  $\mu$  = média geral;  $\alpha_i$  = efeito fixo do  $i$ -ésimo nível do primeiro fator;  $\beta_j$  = efeito fixo do  $j$ -ésimo nível do segundo fator;  $\alpha\beta_{ij}$  = efeito fixo da interação entre o  $i$ -ésimo nível do primeiro fator e o  $j$ -ésimo nível do segundo fator.  $\varepsilon_{ij}$  = resíduo aleatório. A multicolinearidade dos fatores foi verificada por meio do fator de inflação da variância (VIF). Os resíduos padronizados do modelo foram considerados normais pelo teste de *Shapiro-Wilk* e a homocedasticidade atendida segundo o teste de Levene. Os dados com resíduos padronizados superiores a três vezes o intervalo interquartil foram considerados *outliers* e retirados das análises. O tamanho do efeito, ou seja, o quanto da variância da variável resposta é devido ao tratamento, foi obtido por meio do Eta quadrado ( $\eta^2$ ) - razão entre a variância do tratamento e a variância total. A interpretação do tamanho do efeito é similar ao coeficiente de determinação, sendo valores de 0,10 a 0,30 como baixo efeito, 0,31 a 0,50 como efeito moderado e maior que 0,51 como grande efeito<sup>(24, 25)</sup>. A correlação entre as medidas de temperatura de área e ponto central foram obtidas por meio da correlação de *Pearson*, devido da natureza normal dessas variáveis aferida pelo teste de *Shapiro-Wilk*. Todas as análises foram realizadas no Software R<sup>(26)</sup>, sendo adotado um nível de significância igual a 5%.

### 3. Resultados

No dia da captura das imagens termográficas pela câmera por infravermelho nas propriedades rurais da região de Adamantina, a temperatura ambiental e umidade do ar foram aferidos utilizando-se o aplicativo Thermotool™, com os valores apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Média ( $\pm$  DP) da temperatura ambiental e umidade relativa do ar durante a captura das imagens em cada raça

Variáveis	Raça	n	Média $\pm$ DP	Mínimo	Máximo
Temperatura (°C)	Girolando	39	14,50 $\pm$ 1,97	13	17
	Jersey	51	17,00 $\pm$ 0,00	17	17
Umidade (%)	Girolando	39	71,80 $\pm$ 5,42	65	76
	Jersey	51	62,30 $\pm$ 0,95	62	65

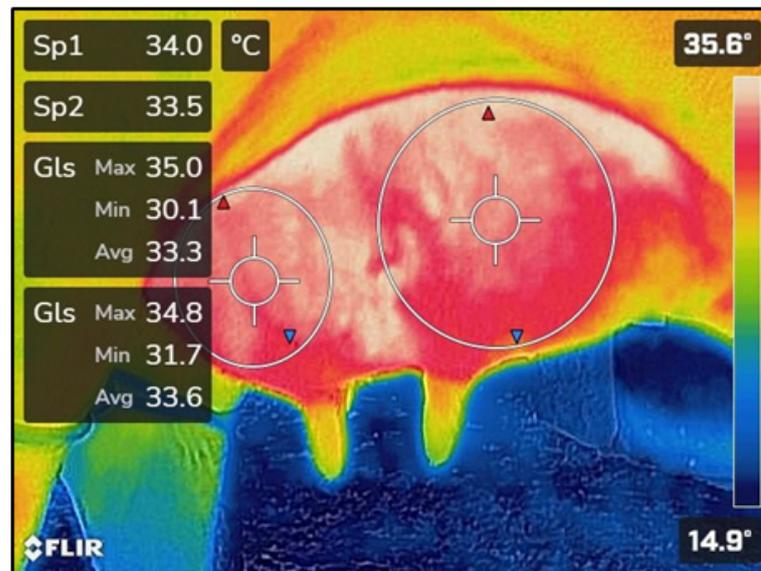
DP: Desvio-padrão; n: número de observações.

Nas propriedades rurais avaliadas, foram encontrados 6/78 (7,7%) quartos mamários com mastite clínica nas vacas Girolando, e 3/102 (2,9%) quartos nas vacas Jersey, considerando como positivo os resultados +, ++ e +++ no teste de Tamis. Já, no teste do CMT, considerando a mesma escala, 36/78 (46,1%) dos quartos

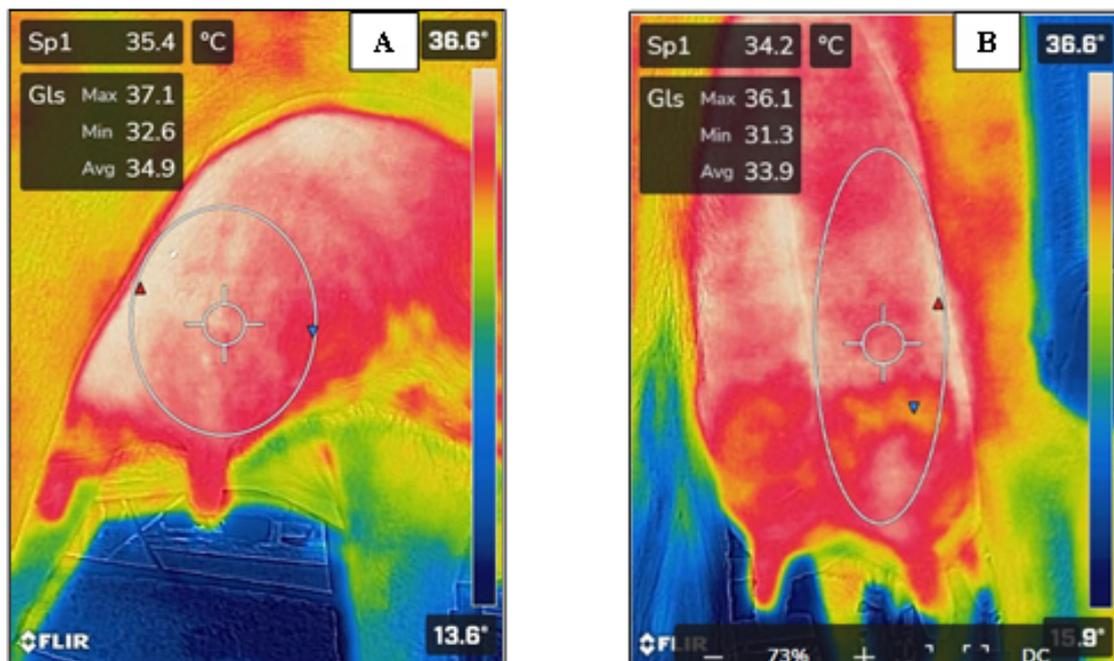
mamários das Girolando e 15/102 (14,7%) das vacas Jersey apresentaram-se positivos (mastite subclínica). Os resultados individuais podem ser observados nas Tabelas 2 e 3 (Teste de Tamis) e 4 e 5 (Teste do CMT),

As imagens dos quartos mamários anterior e posterior foram editadas separadamente por serem

independentes entre si, conforme mostra a Figura 1. No caso de algumas vacas Jersey, devido à morfologia da glândula mamária, não foi possível capturar a glândula mamária posterior pela foto lateral; portanto, as imagens foram realizadas em dois ângulos diferentes: pela lateral, o quarto anterior, e por trás, o posterior (Figura 2), metodologia também realizada por Colak et al.<sup>(6)</sup>



**Figura 1.** Imagem da câmera de termografia por infravermelho de vacas Girolando. Cor azul = temperaturas menores; amarelo e verde = intermediárias; vermelho = temperaturas maiores; escala de temperatura disposta na lateral direita.



**Figura 2.** Imagem da câmera de termografia por infravermelho de vacas Jersey. A: vista lateral, B: vista posterior. Cor azul = temperaturas menores; amarelo e verde = intermediárias; vermelho = temperaturas maiores; escala de temperatura disposta na lateral direita.

Quando a imagem termográfica foi avaliada no ponto central da área (Tabela 2), não houve diferença significativa ( $P < 0,05$ ) entre as médias de Tamis dentro dos pontos anterior e posterior. No entanto, o fator raça, dentro de cada ponto, apresentou diferenças significativas

( $P < 0,05$ ). O tamanho do efeito dessa diferença foi mensurado pelo valor de Eta quadrado  $\eta^2$ . Assim, podemos afirmar que a raça foi responsável por 31,8% da variação da temperatura no ponto anterior e 25,9% no ponto posterior.

**Tabela 2.** Análise descritiva e efeito da raça e do teste de Tamis na variável temperatura do ponto central (Média  $\pm$  DP)

Raça	Ponto	Tamis	n	Média $\pm$ DP	Mínimo	Máximo
Girolando	Anterior	0	33	31,03 $\pm$ 2,01 <sup>A,a</sup>	26,8	34
		+/-	3	32,87 $\pm$ 0,64 <sup>A,a</sup>	32,5	33,6
		+++	3	33,33 $\pm$ 0,90 <sup>A,a</sup>	32,4	34,2
	Posterior	0	36	30,91 $\pm$ 1,74 <sup>A,a</sup>	27,7	34,5
		+/-	-	-	-	-
		+	-	-	-	-
Jersey	Anterior	0	39	31,20 $\pm$ 0,20 <sup>A,a</sup>	31,0	31,4
		+/-	12	34,17 $\pm$ 1,61 <sup>B,a</sup>	29,8	36,1
		+++	-	-	-	-
	Posterior	0	36	34,17 $\pm$ 1,55 <sup>B,a</sup>	31,5	36,7
		+/-	12	33,85 $\pm$ 2,12 <sup>B,a</sup>	31,1	36,5
		+	3	31,37 $\pm$ 0,12 <sup>B,a</sup>	31,3	31,5
		++	-	-	-	

DP: Desvio-padrão; n: número de observações; Letras maiúsculas indicam diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre as médias das raças dentro de cada ponto; Letras minúsculas indicam diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre as médias do teste de Tamis dentro de cada ponto. Resíduo do modelo de regressão foi considerado normal segundo o teste de Shapiro-Wilk.

Além da medida no ponto central da imagem termográfica, foi verificada a temperatura média da área fotografada (Tabela 3). Nesses cenários, também não foi observado diferenças significativas ( $P < 0,05$ ) entre as médias de Tamis. E, assim como na análise por pontos,

houve diferença entre as raças dentro de cada área. Nesse ambiente de avaliação por área, podemos afirmar que a raça foi responsável por 40,0% da variação da temperatura no ponto anterior e 31,02% no ponto posterior.

**Tabela 3.** Análise descritiva e efeito da raça e do teste de Tamis na variável temperatura da área avaliada (Média  $\pm$  DP)

Raça	Área	Tamis	n	Média $\pm$ DP	Mínimo	Máximo
Girolando	Anterior	0	33	30,35 $\pm$ 2,32 <sup>A,a</sup>	24,4	33,3
		+/-	3	32,80 $\pm$ 0,20 <sup>A,a</sup>	32,6	33
		+++	3	33,30 $\pm$ 0,44 <sup>A,a</sup>	32,8	33,6
	Posterior	0	36	30,85 $\pm$ 1,73 <sup>A,a</sup>	27,3	34,3
		+/-	-	-	-	-
		+	-	-	-	-
Jersey	Anterior	0	39	31,57 $\pm$ 0,29 <sup>A,a</sup>	31,4	31,9
		+/-	12	34,24 $\pm$ 1,42 <sup>B,a</sup>	30,7	35,9
		+++	-	-	-	-
	Posterior	0	36	34,16 $\pm$ 1,21 <sup>B,a</sup>	32,1	36,7
		+/-	12	33,84 $\pm$ 1,88 <sup>B,a</sup>	32,0	36,2
		+	3	31,97 $\pm$ 0,06 <sup>B,a</sup>	31,9	32,0
		++	-	-	-	

DP: Desvio-padrão; n: número de observações; Letras maiúsculas indicam diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre as médias das raças dentro de cada área; Letras minúsculas indicam diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre as médias do teste de Tamis dentro de cada área avaliada. Resíduo do modelo de regressão foi considerado normal segundo o teste de Shapiro-Wilk.

Já, na Tabela 4, analisando o ponto central na imagem termográfica e o CMT, observa-se que o tamanho do efeito ( $\eta^2$ ) da raça foi de 41,84% na avaliação ponto do quarto anterior, ou seja, a porcentagem de variação da temperatura foi devido às diferentes raças. No entanto, na comparação entre as médias de Tamis dentro do ponto anterior, houve uma diferença significativa ( $P < 0,05$ ) entre animais Jersey com CMT +++ e demais grupos de animais. Pela medida DP tamanho do efeito ( $\eta^2$ ), notamos

um baixo efeito (0,0104), ou seja, apenas 1,04% da variação da temperatura foi devido às categorias de CMT dentro do ponto anterior.

Na avaliação do ponto posterior, o uso da termografia se mostrou mais eficiente, uma vez que houve diferença significativa ( $P < 0,05$ ) entre as médias de CMT com efeito de 11,72%, com destaque para diferença de 5,87 entre o ponto posterior de animais Girolando (+/-) e Jersey (++)

**Tabela 4.** Análise descritiva e efeito da raça e do teste de CMT na variável temperatura do ponto central (Média ± DP)

Raça	Ponto	CMT	n	Média ± DP	Mínimo	Máximo	
Girolando	Anterior	-	18	29,45 ± 2,67 <sup>A,a</sup>	24,1	33,3	
		+/-	6	32,00 ± 1,85 <sup>A,a</sup>	29,8	34,0	
		+	3	32,87 ± 0,64 <sup>A,a</sup>	32,5	33,6	
		+++	12	32,24 ± 1,52 <sup>A,a</sup>	29,6	34,2	
	Posterior	0	9	31,72 ± 1,70 <sup>A,ab</sup>	29,5	33,7	
		+/-	9	30,43 ± 1,95 <sup>A,a</sup>	27,7	33,1	
		+	6	32,77 ± 0,38 <sup>A,b</sup>	32,3	33,3	
		++	3	31,73 ± 0,21 <sup>A,ab</sup>	31,5	31,9	
		+++	12	32,58 ± 1,44 <sup>A,b</sup>	31,0	34,5	
		-	36	34,40 ± 1,44 <sup>B,a</sup>	29,8	36,1	
		Anterior	+/-	12	32,53 ± 3,00 <sup>B,a</sup>	28,6	36,5
			+	-	-	-	-
+++	3		37,47 ± 0,49 <sup>B,b</sup>	36,9	37,8		
0	24		33,79 ± 1,68 <sup>B,ab</sup>	31,1	36,2		
Jersey	Posterior	+/-	15	33,17 ± 1,46 <sup>B,a</sup>	31,3	35,2	
		+	9	34,80 ± 1,85 <sup>B,b</sup>	32,2	36,7	
		++	3	36,30 ± 0,20 <sup>B,b</sup>	36,1	36,5	
	+++	-	-	-	-		

DP: Desvio-padrão; n: número de observações; Letras maiúsculas indicam diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre as médias das raças dentro de cada ponto; Letras minúsculas indicam diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre as médias do teste de CMT dentro de cada ponto. Resíduo do modelo de regressão foi considerado normal segundo o teste de Shapiro-Wilk.

Quando se analisou a área de temperatura e o CMT (Tabela 5), o tamanho do efeito ( $\eta^2$ ) da raça foi de 47,07% na área do quarto anterior, ou seja, esta porcentagem de variação da temperatura foi devido às diferentes raças e 0,71% da variação da temperatura foi devido às categorias de CMT; já, o tamanho do efeito ( $\eta^2$ ) da raça foi de 34,63% na área posterior, ou seja, esta porcentagem de variação da temperatura foi devido às diferentes raças e

11,06% da variação da temperatura foi devido às categorias de CMT.

Tanto para as mensurações ponto anterior x ponto posterior (correlação 0,80;  $P < 0,001$ ), quanto para a área anterior x área posterior (correlação 0,90;  $P < 0,001$ ), as correlações foram altas, positivas e significativas ( $P < 0,05$ ), indicando que a temperatura do quarto anterior foi próxima aos resultados do quarto posterior.

**Tabela 5.** Análise descritiva e efeito da raça e do teste de CMT na variável temperatura da área avaliada (Média ± DP)

Raça	Área	CMT	n	Média ± DP	Mínimo	Máximo	
Girolando	Anterior	-	18	29,45 ± 2,67 <sup>A,a</sup>	24,1	33,3	
		+/-	6	32,00 ± 1,85 <sup>A,a</sup>	29,8	34,0	
		+	3	32,87 ± 0,64 <sup>A,ab</sup>	32,5	33,6	
		+++	12	32,24 ± 1,52 <sup>A,b</sup>	29,6	34,2	
	Posterior	0	9	31,78 ± 1,71 <sup>A,ab</sup>	29,4	33,7	
		+/-	9	30,46 ± 2,21 <sup>A,a</sup>	27,3	33,2	
		+	6	32,67 ± 0,41 <sup>A,b</sup>	32,2	33,1	
		++	3	31,90 ± 0,1 <sup>A,b</sup>	31,8	32,0	
		+++	12	32,47 ± 1,2 <sup>A,b</sup>	30,9	34,3	
		-	36	34,40 ± 1,44 <sup>B,a</sup>	29,8	36,1	
		Anterior	+/-	12	32,53 ± 3,00 <sup>B,a</sup>	28,6	36,5
			+	-	-	-	-
+++	3		37,47 ± 0,49 <sup>B,b</sup>	36,9	37,8		
0	24		33,82 ± 1,18 <sup>B,a</sup>	32,0	35,5		
Jersey	Posterior	+/-	15	33,37 ± 1,14 <sup>B,a</sup>	31,9	34,9	
		+	9	34,57 ± 1,94 <sup>B,ab</sup>	32,0	36,7	
		++	3	36,17 ± 0,06 <sup>B,b</sup>	36,1	36,2	
	+++	-	-	-	-		

DP: Desvio-padrão; n: número de observações; Letras maiúsculas indicam diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre as médias das raças dentro de cada área; Letras minúsculas indicam diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre as médias do teste de CMT dentro de cada área avaliada. Resíduo do modelo de regressão foi considerado normal segundo o teste de Shapiro-Wilk.

#### 4. Discussão

Este experimento foi realizado entre 5:00h e 8:00h, quando a temperatura ambiente e a umidade relativa do ar (Tabela 1) estavam dentro da faixa que indica conforto térmico aos animais durante o monitoramento das imagens térmicas da superfície da glândula mamária, pois embora Velasco-Bolaños et al.<sup>(15)</sup> não encontraram influência da temperatura em regiões tropicais de altitude e Berry et al.<sup>(5)</sup> observaram que a

temperatura do úbere ficou dentro da faixa detectável da inflamação com a variação de temperatura do ambiente no monitoramento durante o dia, ambos salientaram que não se pode afirmar o mesmo em animais sob temperaturas extremas sazonais, sugerindo mais estudos. No entanto, os trabalhos consultados na literatura<sup>(5-7, 10, 11)</sup> foram realizados, na maioria, em clima temperado, mas os resultados obtidos nesta pesquisa mostram a possibilidade de uso também em clima tropical.

Devido à disposição dos quartos mamários posteriores impossibilitar a tomada da temperatura na sua face lateral em algumas vacas da raça Jersey, houve a necessidade de se tomar a imagem na sua face posterior, metodologia utilizada na raça Holandesa por Colak et al.<sup>(6)</sup> e constatado por Porcionato et al.<sup>(14)</sup> na raça Gir, que a TI identificou variações de temperatura da superfície da pele em diferentes alturas e quartos mamários. Ainda, Poikalainen et al.<sup>(16)</sup> e Yang et al.<sup>(17)</sup> observaram que a temperatura da superfície do úbere não depende do horário da ordenha, somente do momento da aferição (pré e pós-ordenha), e não tem relação entre os quartos mamários, já que são independentes.

Os dados obtidos nesta pesquisa, dentro de cada raça, mostraram que as temperaturas detectadas pela TI, tanto do quarto anterior quanto do posterior, avaliadas no ponto central ou na área, tiveram uma alta correlação (correlação 0,96;  $P < 0,001$ ), sendo a temperatura obtida representativa nas duas formas: ponto ou área. Isso mostra que se, conforme as condições dos animais a campo, caso haja alguma sujidade no quarto mamário, pode-se escolher um local mais limpo para se obter a leitura; esta possível interferência na técnica foi apontada na literatura consultada<sup>(4, 8, 11, 15)</sup>. Embora as temperaturas sejam semelhantes entre os quartos anterior e posterior dentro de cada raça avaliada, corroborando com os resultados de Colak et al.<sup>(6)</sup>, Poikalainen et al.<sup>(16)</sup> e Yang et al.<sup>(17)</sup>, elas diferiram entre as raças, tanto para ponto quanto para área.

Considerando apenas o efeito de raça dentro do ponto posterior, o tamanho do efeito foi de 30,04%, indicando que a raça foi um fator preponderante para a diferença das médias de temperatura em todos os cenários avaliados; assim, ao se utilizar a câmera de termográfica para determinar os quadros com mastite subclínica, deve-se considerar qual raça de animal será avaliada; entretanto, não foram encontrados, na literatura, trabalhos que compararam raças diferentes em uma mesma pesquisa.

Nota-se que a temperatura capturada da glândula mamária da raça Girolando, adaptada ao clima tropical, é menor do que a obtida da raça Jersey (*Bos taurus*), devido a uma característica dessa raça em ter uma dissipação de calor mais eficiente, por possuir maior quantidade de glândulas sudoríparas (sudação) e menor taxa de calor metabólico<sup>(22)</sup>; porém, foi possível o diagnóstico da mastite subclínica nas duas raças, independentes desta característica, mas dentro de cada raça. Portanto, pelos valores da temperatura encontrados por TI na presente pesquisa, a origem da raça, *Bos taurus*, *Bos indicus* ou cruzadas, deve ser considerada para se ter um melhor diagnóstico da mastite.

A metodologia da TI não teve a sensibilidade para se diferenciar quarto com mastite clínica em suas gradações no teste de Tamis, divergindo de Hovinen et

al.<sup>(10)</sup>, Silva et al.<sup>(13)</sup> e Velasco-Bolaños et al.<sup>(15)</sup>; mas, deve-se considerar que o número de quartos com mastite clínica foi muito pequeno, o que pode ter contribuído para esta contradição. Por outro lado, a diferença de temperatura entre os quartos saudáveis e com mastite clínica não foi conclusiva nas duas raças estudadas neste experimento, provavelmente devido ao baixo número de quartos acometidos com mastite clínica, contrapondo os trabalhos consultados na literatura, que induziram a mastite clínica com cepas e *E. coli* para a sua detecção<sup>(4, 10)</sup>. Este baixo número de animais com mastite clínica foi devido os rebanhos, que participaram deste estudo, possuírem boa sanidade para mastite; portanto, a ausência da forma clínica reduziu o potencial em determinar a eficácia do método testado para o diagnóstico.

Já, para a detecção de mastite subclínica, aferida pelo CMT, esta técnica se mostrou eficiente, pois houve uma correlação positiva entre a gradação do teste CMT e o aumento da temperatura da superfície da pele do quarto com mastite subclínica, corroborando com os resultados obtidos por Colak et al.<sup>(6)</sup>, Polat et al.<sup>(7)</sup>, Hovinen et al.<sup>(10)</sup>, Zaninelli et al.<sup>(11)</sup>, Chakraborty et al.<sup>(12)</sup> e Silva et al.<sup>(13)</sup>; porém, divergiram dos resultados descritos por Bortolami et al.<sup>(4)</sup>, Porcionato et al.<sup>(14)</sup> e Velasco-Bolaños et al.<sup>(15)</sup>, que não encontraram diferenças de temperaturas para a mastite subclínica.

Este estudo mostrou que a mastite subclínica foi detectada pela TI tanto nos quartos anteriores como nos posteriores (correlação 0,80 em um ponto e 0,90 em uma área;  $P < 0,001$ ), conforme observado por Silva et al.<sup>(13)</sup>. No entanto, segundo Wang et al.<sup>(20)</sup>, a desvantagem é que quando a vaca tem mastite em mais de um quarto mamário, a diferença entre as temperaturas desses lados pode ser menor, causando um erro de diagnóstico da mastite.

Se considerarmos a diferença de temperatura entre os quartos com mastite subclínica, na face anterior e posterior, houve um aumento de 2,79°C e 0,86°C, respectivamente, em relação aos quartos saudáveis nas vacas Girolando e 3,07°C e 2,51°C nas vacas Jersey. Outros autores encontraram esta diferença de pele 2,35°C<sup>(7)</sup> ou apenas de 0,72°C<sup>(8)</sup>. Por outro lado, obtivesse-se temperaturas por TI muito próximas nas medidas de ponto ou de área, tanto no quarto anterior como no posterior, para se determinar o quadro de mastite subclínica (Teste do CMT) em animais das raças Girolando e Jersey.

Na literatura consultada, cada estudo teve um modelo de equipamento de termografia por infravermelho e forma de captura de imagem, porém as temperaturas captadas nesta pesquisa, mesmo em trópicos diferentes, se assemelharam às publicações. Velasco-Bolaños et al.<sup>(15)</sup> referiram a falta de uma padronização da termografia por TI, quanto à distância e ângulo de captura, local anatômico, vista frontal, traseira ou lateral do quarto

anterior e posterior.

Foi verificado neste trabalho, durante a coleta de dados, que a câmera de termografia por infravermelha foi de fácil manipulação, de boa praticidade, precisão, velocidade de coleta de dados e sem a necessidade de contenção dos animais, corroborando com Berry et al.<sup>(5)</sup>, Colak et al.<sup>(6)</sup>, Zheng et al.<sup>(9)</sup>, Hovinen et al.<sup>(10)</sup>, Chakraborty et al.<sup>(12)</sup>, McManus et al.<sup>(18)</sup> e Neculai-Valeanu e Ariton<sup>(19)</sup>, tendo viabilidade do uso desta nova tecnologia.

## 5. Conclusão

Em conclusão, a TI tem potencial no rastreamento de mastite subclínica em Girolando e em Jersey, como uma ferramenta diagnóstica a campo, não invasiva, portátil e rápida, com capacidade diagnóstica preditiva semelhante ao CMT, porém se deve levar em consideração o valor diferencial da temperatura da pele do úbere da raça avaliada, pois a origem da mesma, Jersey e Girolando, deve ser considerada para se ter um melhor diagnóstico da mastite. A mensuração da TI em um ponto central ou área da glândula mamária são equivalentes para a detecção de mastite subclínica nas raças leiteiras.

### Conflito de interesses

Os autores declaram que não houve conflito de interesses.

### Contribuições do autor

*Conceituação:* S. H. G. Wolf. *Curadoria de dados:* G. B. do Nascimento. *Análise formal:* I. P. Ribeiro, P. H. D. Gonçalves e G. B. do Nascimento. *Investigação:* I. P. Ribeiro, P. H. D. Gonçalves, M. S. Rodrigues e S. H. G. Wolf. *Metodologia:* G. B. do Nascimento e S. H. G. Wolf. *Gerenciamento do projeto:* I. P. Ribeiro e S. H. G. Wolf. *Visualização:* I. P. Ribeiro, R. S. Baptista e J. R. L. Calil Filho. *Recursos:* R. S. Baptista, J. R. L. Calil Filho e S. H. G. Wolf

*Supervisão:* A. Wolf e S. H. G. Wolf. *Redação (rascunho original):* G. B. do Nascimento, A. Wolf e S. H. G. Wolf. *Redação (revisão e edição):* A. Wolf e S. H. G. Wolf

### Agradecimentos

Os autores agradecem a Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação do Centro Universitário de Adamantina (FAI), pelo Programa de Bolsa de Iniciação Científica (PROBIC) e pelo Programa de Programa Voluntário de Iniciação Científica (PIVIC).

### Referências

- Santos RDL, Alessi AC. Patologia veterinária, 3ª ed. Grupo GEN; 2023. ISBN: 09788527738972.
- Constable PD. Clínica veterinária - Um tratado de doenças dos bovinos, ovinos, suínos e caprinos. 11ª ed. Grupo GEN; 2020. ISBN-10: 8527736926.
- Santos MV, Fonseca FL. Controle da mastite e qualidade do

leite - desafios e soluções. São Paulo: Edição dos Autores; 2019. ISBN: 9788591591312.

- Bortolami A, Fiore E, Giancesella M, Corro M, Catania S, Morgante M. Evaluation of the udder health status in subclinical mastitis affected dairy cows through bacteriological culture, somatic cell count and thermographic imaging. *Pol J Vet Sci* 2015; 18(4):799–805. <https://doi.org/10.1515/pjvs-2015-0104>
- Berry RJ, Kennedy AD, Scott SL, Kyle BL, Schaefer AL. Daily variation in the udder surface temperature of dairy cows measured by infrared thermography: Potential for mastitis detection. *Can J Anim Sci* 2003; 83(4):687–93. <https://doi.org/10.4141/A03-012>
- Colak A, Polat B, Okumus Z, Kaya M, Yanmaz LE, Hayirli A. Short Communication: Early detection of mastitis using infrared thermography in dairy cows. *J Dairy Sci* 2008; 91(11):4244–8. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1258>
- Polat B, Colak A, Cengiz M, Yanmaz LE, Oral H, Bastan A, Kaya S, et al. Sensitivity and specificity of infrared thermography in detection of subclinical mastitis in dairy cows. *J Dairy Sci* 2010; 93(8):3525–32. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2807>
- Sathiyabarathi M, Jeyakumar S, Manimaran A, Jayaprakash G, Pushpadass HA, Sivaram M, et al. Infrared thermography: A potential noninvasive tool to monitor udder health status in dairy cows. *Vet World* 2016; 9(10):1075–81. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2016.1075-1081>
- Zheng S, Zhou C, Jiang X, Huang J, Xu D. Progress on Infrared Imaging Technology in Animal Production: A Review. *Sensors* 2022; 18; 22(3):705. <https://doi.org/10.3390/s22030705>
- Hovinen M, Siivonen J, Taponen S, Hänninen L, Pastell M, Aisla AM, et al. Detection of clinical mastitis with the help of a thermal camera. *J Dairy Sci* 2008; 91(12):4592–8. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1218>
- Zaninelli M, Redaelli V, Luzi F, Bronzo V, Mitchell M, Dell'Orto V, et al. First evaluation of infrared thermography as a tool for the monitoring of udder health status in farms of dairy cows. *Sensors* 2018; 18(3):862. <https://doi.org/10.3390/s18030862>
- Chakraborty S, Dhama K, Tiwari R, Yatoo MI, Khurana SK, Khandia R, et al. Technological interventions and advances in the diagnosis of intramammary infections in animals with emphasis on bovine population—a review. *Vet Q* 2019; 39(1):76–94. <https://doi.org/10.1080/01652176.2019.1642546>
- Silva RAB, Pandorfi H, Luiz Pontes de Almeida G, Antônio de Assunção Montenegro A, da Silva MV. Spatial dependence of udder surface temperature variation in dairy cows with healthy status and mastitis. *Rev Bras Saúde Prod Anim* 2019; 20(1): 1-15. <http://dx.doi.org/10.1590/s1519-99402001102019>
- Porcionato AM, Canata TF, Oliveira CEL, Santos, MV. Udder thermography of Gyr cows for subclinical mastitis detection. *Rev Bras Eng Biosistemas* 2009; 3(3), 251–257. <https://doi.org/10.18011/bioeng2009v3n3p251-257>
- Velasco-Bolaños J, Ceballes-Serrano CC, Velásquez-Mejía D, Riaño-Rojas JC, Giraldo CE, Carmona JU, et al. Application of udder surface temperature by infrared thermography for diagnosis of subclinical mastitis in Holstein cows located in tropical highlands. *J Dairy Sci* 2021; 104(9):10310–23. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19894>
- Poikalainen V, Praks J, Veermae I, Kokkin E. Infrared temperature patterns of cow's body as an indicator for health control at precision cattle farming. *Agro Res Biosystem Eng* 2012, 1:187-194. <https://agronomy.emu.ee/vol10Spec1/p10s121.pdf>
- Yang C, Li G, Zhang X, Gu X. Udder skin surface tempera-

ture variation pre- and post- milking in dairy cows as determined by infrared thermography. *J Dairy Res* 2018; 85(2):201–3. <https://doi.org/10.1017/S0022029918000213>

18. McManus R, Boden LA, Weir W, Viora L, Barker R, Kim Y, et al. Thermography for disease detection in livestock: A scoping review. *Front Vet Sci* 2022. <https://doi.org/10.3389/fvet-2022.965622>

19. Neculai-Valeanu AS, Ariton AM. Udder health monitoring for prevention of bovine mastitis and improvement of milk quality. *Bioeng* 2022; 9(11):608. <https://doi.org/10.3390/bioengineering9110608>

20. Wang Y, Li Q, Chu M, Kang X, Liu G. Application of infrared thermography and machine learning techniques in cattle health assessments: A review. *Biosyst Eng* 2023; 230:361–87. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2023.05.002>

21. Schalm OW, Noorlander DO. Experiments and observations leading to development of California Mastitis Test. *J Am Vet* 1957; 130(5):199-207.

22. Pereira C.C.J. Fundamentos de bioclimatologia aplicados à produção animal. Belo Horizonte: FEPMVZ; 2005.

23. Haynes W. Bonferroni Correction. In: Dubitzky W, Wolkenhauer O, Cho KH, Yokota, H (eds) *Encyclopedia of systems biology*. New York:Springer; 2013. [https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9863-7\\_1213](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9863-7_1213)

24. Box GEP; Cox DR. An analysis of transformations. *J Royal Soc* 1964; 26(2):211-252.

25. Tomczak M, Tomczak E. The need to report effect size estimates revisited. An overview of some recommended measures of effect size. *Trends Sport Sci* 2014; 1(21):19-25.

26. R Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>