DOI: 10.1590/1809-6891v27e-83876P

Ciência Animal Brasileira
Brazilian Animal Science

e-ISSN 1809-6891
Zootecnia | Artigo científico

Análise de concordância e modelagem preditiva utilizando temperaturas superficiais corporais obtidas por termografia para estimar a temperatura retal em caprinos leiteiros

[Agreement analysis and predictive modeling using thermographic body surface temperatures to estimate rectal temperature in young and adult dairy goats]

Ayres Gustavo Dias Nogueira[1], Tamara Ferreira[1], Daniela Silvéria de Lana[2], Edvania Neres Lino[1], Lucas Eduardo Gonçalves Vilaça[1], Erica Beatriz Schultz*[1]

1 Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, Minas Gerais, Brasil
2 Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo (ESALQ – USP), Piracicaba, São Paulo, Brasil

*autor correspondente: erica.schultz@ufv.br

Recebido: 06 de setembro de 2025. Aceito: 18 de maio de 2026. Publicado: 11 de junho de 2026.
Editor: Rondineli P. Barbero

Resumo: O objetivo deste estudo foi avaliar o uso da termografia para estimar ou predizer a temperatura corporal em caprinos leiteiros. Foram utilizados 98 animais, sendo 45 jovens e 53 adultos. A temperatura retal de cada animal foi medida com um termômetro digital. Imediatamente após a aferição, foi capturada uma imagem termográfica. As regiões corporais avaliadas nas imagens foram: olho (EY), subocular (SOC), garupa (HQ), espádua (SE) e cabeça (HD). A análise dos dados incluiu correlação de Pearson e gráficos de Bland–Altman. Para a predição, aplicaram-se modelos de regressão linear e árvore de decisão. Observou-se baixa correlação (<0,40) entre as temperaturas superficiais das regiões EY, SOC, HQ, SE e HD e a temperatura retal, tanto em caprinos jovens quanto em adultos. Na análise de concordância, a região SOC apresentou o menor viés, com valores de 5,57 °C e 4,89 °C para jovens e adultos, respectivamente. Para a predição, os modelos de árvore de decisão superaram a regressão linear simples, com valores de R^2 de 0,1441 e MAE de 0,2415 para caprinos jovens, e R^2 de 0,38 e MAE de 0,2513 para caprinos adultos leiteiros. Conclui-se que a termografia pode ser utilizada para estimar e predizer a temperatura retal, desde que seja realizada a correção do viés.

Palavras-chave: caprinos leiteiros, termografia infravermelha, pecuária de precisão, bem-estar animal, temperatura corporal.

Abstract: The objective of this study was to evaluate the use of thermographic imaging to estimate and predict rectal temperature in dairy goats. A total of 98 goats, comprising 45 young and 53 adults, were used. Rectal temperature was measured using a digital thermometer, and a thermal image was captured immediately afterward. The anatomical regions evaluated in the thermographic images were the eye, subocular region, hindquarters, shoulder, and head. Data analysis included Pearson correlation and Bland–Altman agreement analyses. For prediction, simple linear regression and decision-tree models were applied. Low correlations (<0.40) were observed between rectal temperature and the surface temperatures of the eye, subocular region, hindquarters, shoulder,

Copyright ©. Este é um artigo em acesso aberto distribuído nos termos da Creative Commons Attribution License que permite o uso irrestrito, a distribuição e reprodução em qualquer meio desde que o artigo original seja devidamente citado.

and head regions in both young and adult goats. In the agreement analysis, the subocular region showed the lowest bias, with values of 5.57°C and 4.89°C for young and adult goats, respectively. For prediction, the decision-tree models outperformed the simple linear regression models, achieving R^2 values of 0.1441 and a mean absolute error of 0.2415 for young goats, and an R^2 of 0.38 and a mean absolute error of 0.2513 for adult goats. It was concluded that thermal imaging can be used to estimate and predict rectal temperature following correction for systematic bias.

Keywords: dairy goats, infrared thermography, precision livestock farming, animal welfare, body temperature.

1. Introdução

A integração de tecnologias digitais nos sistemas de produção pecuária está emergindo no contexto do monitoramento do bem-estar animal, dada a sua associação com a melhoria da saúde, desempenho e lucratividade [1]. Entre os principais indicadores fisiológicos para avaliação do bem-estar, a temperatura corporal é essencial devido à sua sensibilidade na detecção de alterações fisiopatológicas associadas a estados de doença ou desconforto térmico [2]. Em caprinos, a temperatura corporal é convencionalmente medida usando um termômetro retal. No entanto, este método carrega um risco de contaminação cruzada se a desinfecção adequada não for realizada. Além disso, requer a contenção do animal, aumentando tanto as demandas de mão de obra quanto a complexidade do manejo de rotina.

Como uma alternativa digital, as câmeras termográficas podem capturar imagens na faixa do infravermelho longo (IR) do espectro eletromagnético, produzindo imagens térmicas conhecidas como termogramas. Esses dispositivos permitem a detecção de variações de temperatura, pois o aumento da temperatura corporal resulta em maiores níveis de radiação infravermelha emitida [3]. Uma grande variedade de câmeras termográficas está disponível, diferindo em resolução, portabilidade, precisão e preço, variando de aproximadamente US$100 a mais de US$50.000. Essa diversidade destaca a necessidade contínua de pesquisas para avaliar sua eficácia especificamente para a avaliação da temperatura corporal em animais.

Para caprinos de corte, Marques et al. [4] relataram fortes correlações (r = 0,82 a 0,95) entre a temperatura retal e as temperaturas superficiais registradas no olho, escápula e garupa usando imagens termográficas. Da mesma forma, um estudo em caprinos machos da raça Yichang avaliou medições termográficas em diferentes regiões anatômicas para prever a temperatura retal, identificando a temperatura superficial da virilha como o indicador mais confiável, com um coeficiente de correlação de 0,48 [5]. A termografia infravermelha (IRT) demonstrou potencial para monitorar mudanças na temperatura da superfície corporal para avaliar o status térmico, detectar estresse térmico e rastrear alterações fisiológicas durante períodos de privação de água, contribuindo assim para melhorar o manejo ambiental e aumentar o bem-estar e a produtividade animal [6, 7].

Conforme relatado na literatura, a IRT é uma ferramenta promissora para avaliação não invasiva e em larga escala da temperatura corporal. Embora estudos anteriores tenham demonstrado o potencial da imagem termográfica para avaliar a temperatura corporal em caprinos, ainda existem lacunas de conhecimento sobre sua aplicação em caprinos leiteiros, particularmente em diferentes categorias fisiológicas e regiões anatômicas de interesse. Portanto, este estudo teve como objetivo avaliar o uso de imagens termográficas superficiais para estimar a temperatura retal em caprinos leiteiros jovens e adultos.

2. Material e métodos

2.1 Animais e manejo

O estudo foi conduzido na Universidade Federal de Viçosa (UFV), localizada em Viçosa, Minas Gerais, Brasil. Todos os procedimentos foram realizados de acordo com as diretrizes do Comitê de Ética no Uso de Animais de Produção, sob o protocolo aprovado número 75/2025. Durante o período experimental, as temperaturas ambientes variaram de um mínimo de 15,9°C a um máximo de 29,5°C (INMET).

Um total de 98 caprinos, machos e fêmeas, das raças Saanen e Alpina foram utilizados no experimento. Os animais foram classificados em dois grupos etários: jovens (n = 45, com menos de 1 ano de idade) e adultos (n = 53, com mais de 1 ano de idade), sem distinção de sexo ou raça. Os caprinos jovens foram alojados em sistemas de gaiolas suspensas dentro de uma instalação abrigada, enquanto os adultos foram mantidos em baias coletivas do tipo free-stall com acesso a um solário. O manejo alimentar seguiu as práticas rotineiras da fazenda, e as dietas consistiam em silagem de milho e uma mistura concentrada (milho moído, farelo de soja, farelo de trigo e suplemento mineral), com acesso *ad libitum* à água.

2.2 Coleta de dados

A coleta de dados foi realizada durante a estação do outono em dois dias não consecutivos, com cinco dias de intervalo. O período experimental foi intencionalmente restrito a uma única estação para garantir condições ambientais mais padronizadas durante a aquisição dos dados e minimizar a influência de variações climáticas mais amplas na comparação entre as medições de temperatura retal e termográfica. A temperatura ambiente foi monitorada utilizando um registrador de dados (*data logger*) (RC04, Elitech Technology Inc., San Jose, CA, EUA) com precisão de ±0,5 °C, programado para registrar as leituras em intervalos de 15 minutos. Os animais foram contidos manualmente em um corredor de manejo e posicionados lateralmente para garantir a visualização clara de todas as regiões de interesse.

Após a contenção, a temperatura retal foi medida utilizando um termômetro digital (BIOPRESS, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil), o qual foi inserido no reto e permaneceu no local por aproximadamente três minutos até a emissão do sinal final. O termômetro foi higienizado com água e álcool 70 % entre cada medição.

Imediatamente após a medição convencional, a imagem térmica foi realizada utilizando uma câmera térmica FLIR C5 (FLIR Systems Inc., Wilsonville, OR, EUA), posicionada a aproximadamente 1 metro de distância e 1 metro acima do animal, em um ângulo de 90° em relação ao solo, com uma precisão de medição de ±3 °C. Uma única imagem foi capturada por animal.

Para otimizar a análise subsequente, assim que as imagens foram transferidas para um computador, três parâmetros foram padronizados: região anatômica de interesse, filtro de imagem e escala de temperatura. Utilizando o software FLIR Tools, a temperatura superficial média foi extraída das seguintes regiões: olho (EY), subocular (SOC), garupa (HQ), espádua (SE) e cabeça (HD) (Figura 1). Cada imagem foi processada utilizando a paleta de cores "Grey" (Cinza), com a escala de temperatura fixada entre 36 °C (mínima) e 42 °C (máxima). As regiões de interesse foram delineadas manualmente, mantendo um tamanho de área consistente em todas as imagens.

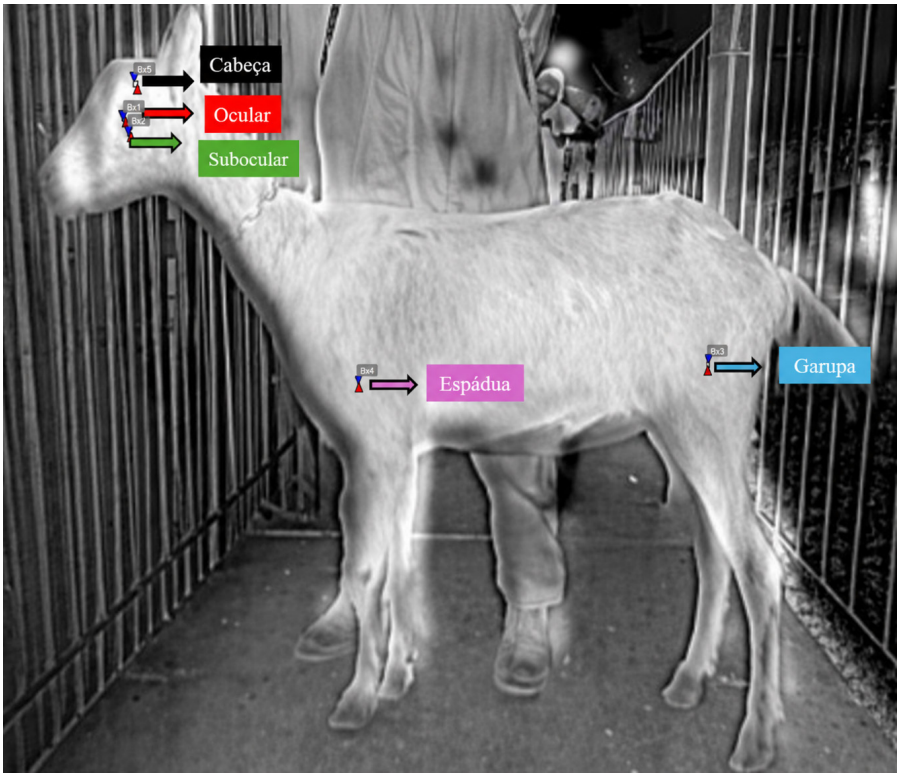

Figura 1. Imagem termográfica representativa mostrando as regiões anatômicas utilizadas para a avaliação da temperatura superficial: olho (EY), região subocular (SOC), garupa (HQ), espádua (SE) e cabeça (HD).

2.3 Análise estatística

A análise descritiva foi realizada calculando-se a média e o desvio padrão de todas as variáveis dentro de cada categoria. Para a análise exploratória, aplicou-se a correlação de Pearson ao nível de significância de 5 %. Para avaliar a concordância entre o método tradicional e as medições termográficas dentro de cada categoria, utilizaram-se os gráficos de Bland–Altman, com os limites de concordância estimados como ±1,96 vezes o desvio padrão das diferenças.

Para a análise preditiva, um modelo de regressão linear simples foi ajustado para cada categoria utilizando características individuais derivadas das imagens. Além disso, um modelo de aprendizado de máquina de árvore de decisão foi implementado e otimizado utilizando o método de validação cruzada *leave-one-out*. O desempenho do modelo foi avaliado com base no coeficiente de determinação (R^2), erro médio absoluto (MAE), raiz do erro quadrático médio (RMSE) e erro percentual absoluto médio (MAPE).

3. Resultados

As temperaturas superficiais médias obtidas a partir das imagens térmicas e as temperaturas retais foram semelhantes entre as categorias de idade (Tabela 1). Houve uma baixa correlação positiva (< 0,40) entre a temperatura retal e as temperaturas superficiais das regiões do olho (EY), subocular (SOC), garupa (HQ) e espádua (SE) em caprinos jovens e adultos. Para a correlação da cabeça (HD), a temperatura superficial foi baixa e negativa em relação à temperatura retal em ambas as categorias (Tabela 1).

Tabela 1. Estatísticas descritivas e correlação de Pearson entre as temperaturas retal e superficial estratificadas por categoria.

	Jovens		Adultas	
Temperatura da Superfície	Média(SD)	*r*	Média(SD)	*r*
Ocular(ºC)	33.69 ± 1.80	0.1662	33.60 ± 2.27	0.1214
Subocular (ºC)	33.81 ± 1.77	0.2408	34.25 ± 2.08	0.3735
Garupa(ºC)	31.27 ± 2.07	0.091	32.89 ± 1.90	0.2937
Espádua(ºC)	31.1 ± 1.84	0.053	33.05 ± 1.61	0.2977
Cabeça (ºC)	33.72 ± 2.87	-0.041	32.87 ± 3.41	-0.2738
Temperatura retal	39.39 ± 0.38		39.20 ± 0.42	
Temperatura do ambiente		27.58 ± 0.63		

r: Coeficiente da correlação de Pearson. SD: Desvio padrão.

Na análise de concordância, independentemente da região avaliada, à medida que a temperatura corporal média aumentou, observou-se uma redução no viés entre os métodos em caprinos jovens e adultos (Figuras 2 e 3). Os menores vieses foram observados nas regiões EY e SOC para ambas as categorias. Quanto aos limites de concordância (±), o desvio da temperatura superficial dos caprinos jovens foi de 3,425; 3,425; 5,516; 3,310 e 2,969 para EY, SOC, HD, HQ e SE, respectivamente.

Para caprinos adultos, os valores dos limites de concordância (±) foram de 4,466; 3,540; 6,873; 3,264 e 2,393 para EY, SOC, HD, HQ e SE, respectivamente (Figuras 2 e 3).

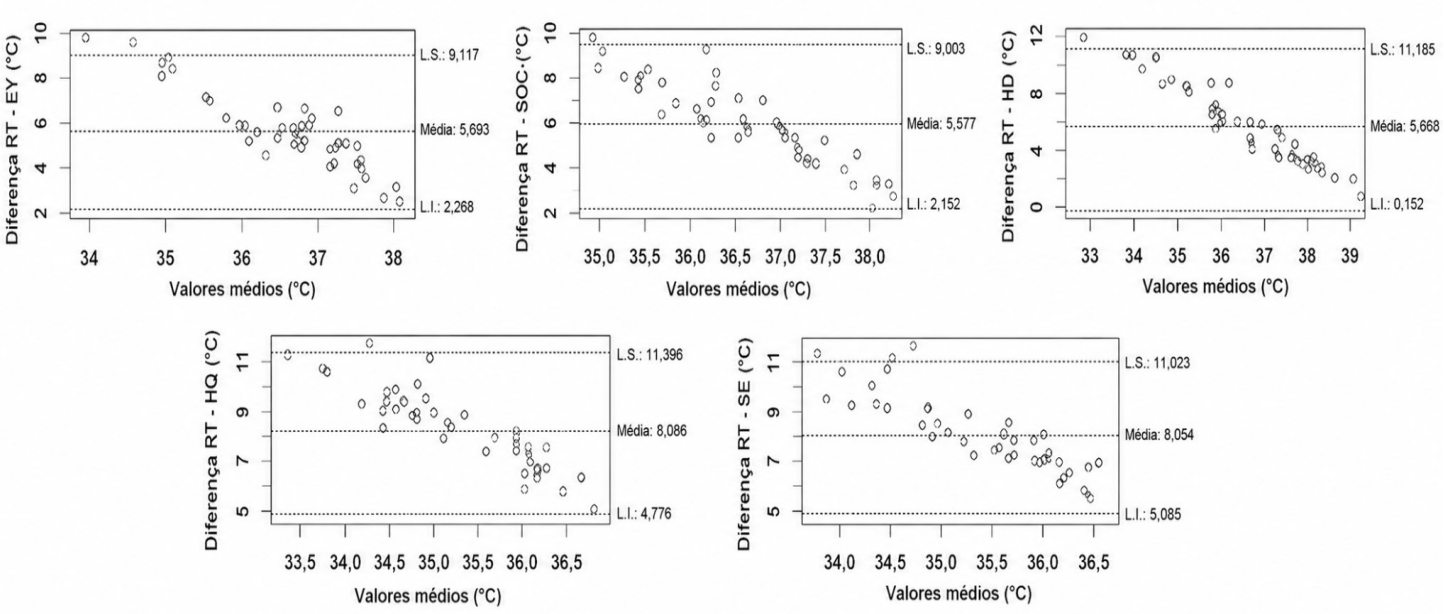

Figura 2. Análise de concordância entre a temperatura retal e a temperatura superficial ocular (EY), subocular (SOC), garupa (HQ), cabeça (HD) e espádua (SE) de caprinos jovens. M: média; L.S: limite superior e L.I: limite inferior.

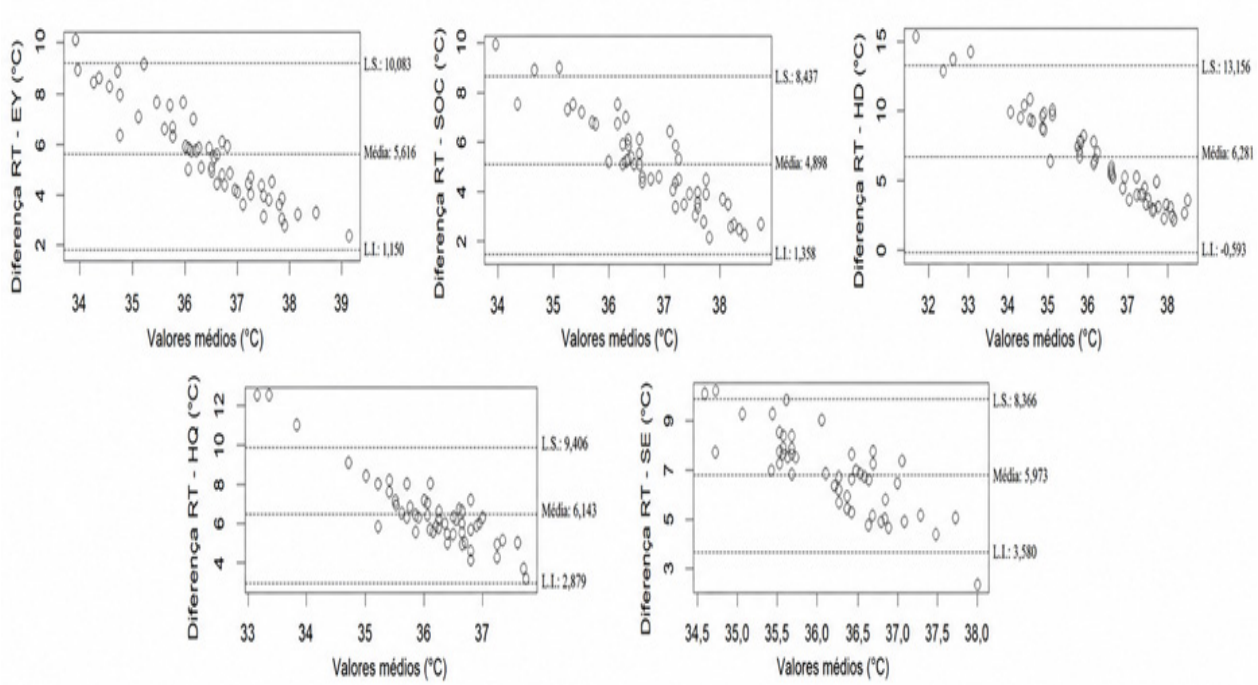

Figura 3. Análise de concordância entre a temperatura retal (RT) e a temperatura superficial ocular (EY), subocular (SOC), cabeça (HD), garupa (HQ) e espádua (SE) de caprinos adultos. M: média; U: limite superior e L: limite inferior.

Considerando que a região da espádua (SE) apresentou o menor limite de concordância entre as temperaturas termográfica e retal, a soma dos erros sistemáticos resultou em concordância entre os métodos, com a diferença média se aproximando de zero (Figura 4).

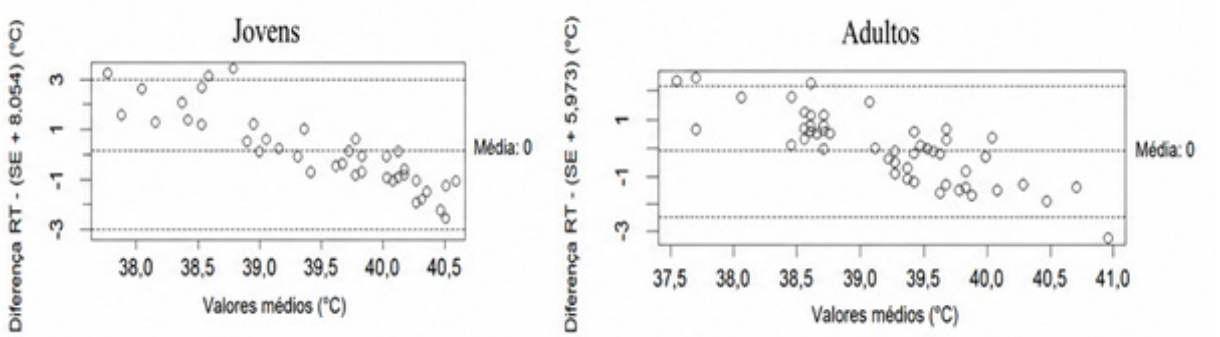

Figura 4: Concordância entre a temperatura retal (RT) e a da espádua (SE) adicionada aos seus respectivos vieses de caprinos jovens e adultos. M: média

Na tentativa de utilizar os dados das imagens térmicas para predizer a temperatura retal, o modelo de aprendizado de máquina superou os modelos lineares em ambas as categorias de idade, apresentando maior precisão e acurácia (Tabela 2). Para os caprinos jovens, a variável preditora mais importante no modelo foi a região do olho (EY), contribuindo com 100 % para a árvore de decisão. Nos caprinos adultos, as variáveis mais influentes foram a garupa (HQ, 44,28 %), a região subocular (SOC, 29,77 %) e a cabeça (HD, 25,94 %). Nos modelos de regressão linear simples, a EY foi o melhor preditor para animais jovens, enquanto a região subocular foi o preditor mais preciso para os adultos (Tabela 2).

Tabela 2. Modelos para predizer a temperatura retal utilizando características de temperatura superficial.

Cabras jovens				
Modelos de regressão linear	**R²**	**MAPE**	**MAE**	**RMSE**
Tretal = 37.0149 + 0.0424 * Tocular	0.06022	7.37	0.2906	0.3675
Tretal = 38.2552 + 0.0336 * Tsubocular	0.0381	7.29	0.2873	0.3718
Tretal = 38.7487 + 0.0203 * Tgarupa	0.0120	7.62	0.3002	0.3768
Tretal = 38.3987+ 0.0317* Tespádua	0.0228	7.55	0.2976	0.3747
Tretal = 38.5221+ 0.0258* Tcabeça	0.04	7.16	0.2823	0.3698
Modelo de árvore de decisão	0.1441	6.8	0.2415	0.3507
Cabras adultas				
Modelos de regressão linear	**R²**	**MAPE**	**MAE**	**RMSE**
Tretal = 38.4546+ 0.02258 * Tocular	0.0147	8.57	0.3363	0.4189
Tretal = 36.3705+ 0.0824 * Tsubocular	0.1395	7.65	0.3000	0.3915
Tretal = 36.8342 + 0.0719 * Tgarupa	0.0862	8.31	0.3262	0.4034
Tretal = 35.9136+ 0.0992* Tespádua	0.0886	8.26	0.3241	0.4029
Tretal = 40.3547 - 0.0346* Tcabeça	0.008	7.50	0.3188	0.4059
Modelo de árvore decisão	0.3883	6.4	0.2513	0.3300

R²: coeficiente de determinação; MAE: erro médio absoluto; MAPE: erro percentual absoluto médio e RMSE: raiz do erro quadrático médio.

4. Discussão

O monitoramento da temperatura retal é essencial para compreender as mudanças na fisiologia animal sob diferentes condições ambientais, bem como para detectar a febre, que pode ser um sinal precoce de doença afetando a saúde e o bem-estar. Neste estudo, os valores de temperatura retal estiveram dentro da faixa relatada por Lima et al.[8] que, em uma revisão investigando a relação entre as condições térmicas e as respostas fisiológicas, relataram temperaturas retais médias de 38,98 °C para a raça Alpina e 39,63 °C para a raça Saanen em animais saudáveis.

A temperatura da superfície corporal dos animais pode ser influenciada pela temperatura ambiente, cobertura de pelos e perfusão sanguínea. A baixa correlação observada em ambas as categorias entre a temperatura retal e a temperatura superficial capturada nas imagens térmicas pode ser atribuída aos efeitos da temperatura ambiente e, nas regiões da garupa, cabeça e espádua, à presença de pelos. Além disso, a câmera térmica utilizada, de resolução espacial relativamente baixa, pode ter limitado a acurácia da detecção da temperatura superficial, contribuindo ainda mais para a fraca associação com a temperatura corporal interna. Isso foi evidenciado por Marques et al. [4], que, além de removerem os pelos das regiões avaliadas, empregaram uma câmera térmica com maior resolução e precisão, relatando fortes correlações ($r > 0,80$) entre as temperaturas superficiais e retais nas regiões do olho, cabeça, garupa e espádua de caprinos de corte. Em contraste, Sun et al. [5], utilizando uma câmera de menor precisão, relataram correlações de 0,21 e 0,30 para as regiões do olho e da cabeça, respectivamente.

Os baixos vieses em EY e SOC podem ser explicados porque essa região e a pele circundante podem fornecer uma imagem que reflete o balanço simpático-vagal do animal [9]. Assim, sob estresse, o aumento do fluxo sanguíneo para a região ocular eleva a temperatura do olho, mesmo quando a temperatura corporal central permanece baixa. Bakker et al. [10] explicam que a região do olho é utilizada em diferentes espécies animais como a região ideal para estimar as mudanças na temperatura corporal central, devido à ausência de pelagem, pelos ou lã. Estudos

de Bartolomé et al. [11] e Vega et al. [12] reforçaram que a temperatura do olho é a mais fortemente correlacionada tanto com a temperatura ambiental quanto com a temperatura corporal central em caprinos e ovinos, respectivamente. Embora tenham sido observadas diferenças entre o padrão-ouro e as medições de imagens térmicas, o viés refletiu um erro sistemático, indicando que a termografia poderia ser um método reprodutível e confiável para a avaliação da temperatura quando a correção do viés médio é aplicada.

Os reduzidos limites de concordância observados na região da espádua podem ser explicados pelo posicionamento lateral do animal, o qual expõe uma área de superfície relativamente maior e mais uniforme próxima à escápula, em comparação com outras regiões avaliadas. Essa vantagem anatômica facilita uma seleção regional mais precisa e consistente, permitindo uma média mais representativa dos pixels térmicos. Consequentemente, minimiza a influência das limitações de resolução da imagem e aumenta a confiabilidade e precisão das medições de temperatura superficial nessa área. Esse achado difere dos resultados relatados por Marques et al. [4], que observaram os limites de concordância mais estreitos na região do olho. Tais discrepâncias ressaltam a importância de se considerar variações associadas a fatores como especificações da câmera e posicionamento do animal durante a termografia, conforme observado por Little et al. [13]. Além disso, mesmo dentro de áreas adjacentes, pode ocorrer variabilidade, conforme demonstrado por Bakker et al. [10], que relataram diferentes respostas térmicas em distintas microrregiões próximas à área ocular ao avaliar a temperatura corporal em ovinos.

Os modelos preditivos demonstraram baixa precisão, o que pode ser atribuído às fracas correlações entre as variáveis preditoras e a temperatura retal. O desempenho dos modelos de regressão simples foi consistente com os resultados relatados por Sun et al. [5] para caprinos chineses, mostrando valores de R^2 de 0,07 para a região da cabeça e 0,04 para o olho. A melhoria na precisão alcançada com o modelo de aprendizado de máquina deve-se provavelmente à capacidade das árvores de decisão de lidar efetivamente com alta variância e multicolinearidade, reduzindo assim o erro de predição [14].

Embora a abordagem atual dependa de equipamentos especializados de imagem térmica, de processamento manual de imagens e do uso de uma única imagem térmica por animal — o que pode limitar a precisão da medição por não contabilizar a variação temporal —, os achados estabelecem uma importante prova de conceito sobre a viabilidade da termografia infravermelha para a avaliação não invasiva da temperatura corporal e a identificação das regiões anatômicas mais adequadas para esse fim. Esses resultados fornecem uma base científica para estudos futuros voltados ao desenvolvimento de fluxos de trabalho automatizados baseados em inteligência artificial para detecção de regiões e extração de temperatura a partir de múltiplos quadros ou fluxos de vídeo contínuos, bem como sistemas de monitoramento em tempo real utilizando as saídas diretas das câmeras térmicas, aumentando assim a escalabilidade, robustez e aplicação prática dessa tecnologia na caprinocultura leiteira de precisão.

5. Conclusão

É possível utilizar a termografia para estimar e predizer a temperatura retal em caprinos leiteiros jovens e adultos. As regiões de temperatura superficial do olho e subocular apresentaram as maiores correlações com a temperatura retal. A região da espádua exibiu a menor variação de temperatura, indicando maior estabilidade. Com a correção apropriada dos erros sistemáticos, qualquer uma das regiões avaliadas pode ser utilizada para estimar a temperatura retal por meio

da termografia, tanto em caprinos leiteiros jovens quanto adultos. Além disso, o modelo de árvore de decisão mostrou-se mais eficaz na utilização das características das imagens térmicas para predizer a temperatura retal.

Declaração de conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

Declaração de disponibilidade de dados

Os conjuntos de dados analisados durante o presente estudo estão disponíveis mediante solicitação ao autor correspondente.

Contribuições do autor

Conceitualização: Schultz E. B.; Curadoria de dados: Nogueira, A. G. D.; Ferreira, T.; de Lana, D. S.; Lino, E. N.; Vilaça, L. E. G.; Schultz E. B; Análise formal:: Nogueira, A. G. D.; Ferreira, T.; Schultz E. B.; Aquisição de financiamento:Schultz E. B.; Investigação: Nogueira, A. G. D.; Ferreira, T.; de Lana, D. S.; Lino, E. N.; Vilaça, L. E. G.; Metodologia: Schultz E. B.; Administração do projeto: Schultz E. B.; Recursos: Schultz E. B.; Supervisão: Schultz E. B.; Validation: Schultz E. B.; Visualização: Nogueira, A. G. D.; Ferreira, T.; Lino, E. N.; Schultz E. B.; Redação (rascunho original): Nogueira, A. G. D.; Ferreira, T.; de Lana, D. S.; Lino, E. N.; Schultz E. B.; Redação (revisão e edição): Nogueira, A. G. D.; Vilaça, L. E. G.

Declaração de uso de IA generativa

Os autores não utilizaram ferramentas ou tecnologias de Inteligência Artificial generativa na criação ou edição de qualquer parte deste manuscrito.

Referências

1. Brito LF, Oliveira HR, McConn BR, Schinckel AP, Arrazola A, Marchant-Forde JN, et al. Large-scale phenotyping of livestock welfare in commercial production systems: a new frontier in animal breeding. Front Genet. 2020;11:793. https://doi.org/10.3389/fgene.2020.00793

2. Mota-Rojas D, Wang D, Titto CG, Gómez-Prado J, Carvajal-de la Fuente V, Ghezzi M, et al. Pathophysiology of fever and application of infrared thermography (IRT) in the detection of sick domestic animals: Recent advances. Animals (Basel). 2021;11:2316. doi: https://doi.org/10.3390/ani11082316.

3. 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;9:965622. https://doi.org/10.3389/fvets.2022.965622

4. Marques JI, Leite PG, Lopes Neto JP, Furtado DA, Lopes FFDM. Estimation of rectal temperature of goats based on surface temperature. Eng Agric. 2021;41:591-8. Doi: https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v41n6p591-598/2021

5. Sun L, Liu G, Jiang X. Relationships of infrared thermography temperature with core temperature in goats. Trop Anim Health Prod. 2024;56:138. doi: https://doi.org/10.1007/s11250-024-03995-z

6. Costa EDO, Gordiano LA, Ferreira FG, Santos SA, Carvalho GGP, Araújo MLG, et al. Thermography as an indicator of goat welfare in an intensive production system. Trop Anim Health Prod. 2023;55:373. doi: https://doi.org/10.1007/s11250-023-03791-1?urlappend=%3Futm_source%3Dresearchgate.net%26utm_medium%3Darticle

7. Samara EM, Al-Badwi MA, Abdoun KA, Al-Haidary AA. Applicability of thermography as a potential non-invasive technique to assess the body-thermal status of heat-stressed and water-deprived goats (*Capra hircus*). J Therm Biol. 2024;119:103790. doi: https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2024.103790

8. Lima ARC, Silveira RMF, Castro MSM, Vecchi LB, Rocha Fernandes MHM, Resende KT. Relationship between thermal environment, thermoregulatory responses and energy metabolism in goats: A comprehensive review. J Therm Biol. 2022;109:103324. doi: https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2022.103324

9. Stewart M, Schaefer AL, Haley DB, Colyn J, Cook NJ, Stafford KJ, Webster JR. Infrared thermography as a non-invasive method for detecting fear-related responses of cattle to handling procedures. Anim Welf. 2008;17(4):387-93. doi: https://doi.org/10.1017/S0962728600027895

10. Bakker ML, Milano GD, Fernandez J, Alvarado PI, Nadin LB. Lack of agreement among analysers of infrared thermal images in the temperature of eye regions in sheep. J Therm Biol. 2024;126:181-9. doi: https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2024.104021

11. Bartolomé E, Azcona F, Cañete-Aranda M, Perdomo-González DI, Ribes-Pons J, Terán EM. Testing eye temperature assessed with infrared thermography to evaluate stress in meat goats raised in a semi-intensive farming system: A pilot study. Arch Anim Breed. 2019;62:199-204. doi: https://doi.org/10.5194/aab-62-199-2019

12. Vega WHO, Silveira RMF, Freitas ACB, Quirino CR. Efficiency of infrared pyrometer and infrared thermography for assessing body surface temperature in hair sheep. Res Vet Sci. 2024;181:105450. doi: https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2024.105450

13. Little MW, Weller JE, Buijs S. The impact of the dairy cow's position on eye and udder temperatures obtained with infra-red thermography within a walk-through system. Animal. 2025;101523. doi: https://doi.org/10.1016/j.animal.2025.101523

14. Genuer R, Poggi JM. Random forests. In: Applied Mathematics for Data Science. Cham: Springer Int Publ; 2020. p.33-55. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-56485-8_3