

CLASSIFICAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO DE SUÍNOS COM BASE NA TERMOGRAFIA POR INFRAVERMELHO E APRENDIZADO DE MÁQUINA

MARIA DE FÁTIMA ARAÚJO ALVES¹, HÉLITON PANDORFI², GLEDSON LUIZ PONTES DE ALMEIDA³, RODES ANGELO BATISTA DA SILVA⁴, TAIZE CALVACANTE SANTANA⁵, NICOLY FARIAS GOMES⁶

¹Eng. Ambiental, Doutoranda em Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE, fatima.alves@ufrpe.br

²Eng. Agrônomo, Prof, Titular, Depto. de Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE

³Eng. Agrícola, Prof, Assoc., Depto. de Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE

⁴Eng. Agrícola, Doutoranda em Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE

⁵Eng. Agrícola, Doutoranda em Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE

⁶Eng. Agrícola, Doutoranda em Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE

Apresentado no
LIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2024
6 a 8 de agosto de 2024 – Natal – RN, Brasil

RESUMO: O objetivo deste estudo foi desenvolver um modelo computacional usando algoritmo de máquina de vetores de suporte (SVM) para classificar o conforto térmico de suínos, com base em imagens obtidas por câmera termográfica por infravermelho. Foram utilizados 27 suínos, submetidos a diferentes condições de variação, que incluíam baias sem climatização (T), baias com ventilação forçada (VF) e baias com sistema de resfriamento adiabático evaporativo (SRAE). Foram registradas as variáveis termohigrométricas do ar e fisiológicas dos animais. A precisão do modelo definido pela área sob a curva (AUC) indicou que as previsões para os animais submetidos a VF foi de 91%, associado ao ITGU de 79,00, seguido pelos animais alojados na T que apresentou ITGU de 81,50 e ajuste de 79%, enquanto os animais submetidos ao SRAE, o valor do ITGU foi de 72,50 e a previsão de 60%. Esses resultados demonstram que a termografia pode ser utilizada como um valioso recurso para caracterizar o conforto térmico animal. Além disso, demonstram a capacidade do modelo SVM em prever o bem-estar térmico dos suínos com base em padrões de temperatura cutânea.

PALAVRAS-CHAVE: ambiência animal; análise de imagem; monitoramento remoto.

CLASSIFICATION OF THERMAL COMFORT OF PIGS BASED ON INFRARED THERMOGRAPHY AND MACHINE LEARNING

ABSTRACT: The aim of this study was to develop a computational model using a support vector machine (SVM) algorithm to classify the thermal comfort of pigs based on images obtained by an infrared thermal camera. 27 pigs were subjected to different environmental conditions, including pens without air conditioning (T), pens with forced ventilation (VF), and pens with an evaporative adiabatic cooling system (SRAE). The study recorded the air thermohygrometric and physiological variables of the animals. The model's precision, as indicated by the area under the curve (AUC), showed that the predictions for animals subjected to VF were 91%, with an ITGU of 79.00. Animals housed in T presented an ITGU of 81.50 and an adjustment of 79%, while animals subjected to SRAE had an ITGU value of 72.50 and a prediction of 60%. These results demonstrate that thermography can be a valuable resource for characterizing animal thermal comfort. Additionally, they demonstrate the SVM model's ability to predict pigs' thermal well-being based on skin temperature patterns.

KEYWORDS: animal thermal comfort; image analysis; remote monitoring.

INTRODUÇÃO: Um método confiável para avaliar o bem-estar térmico de animais de produção é o monitoramento da variação da temperatura corporal. Apesar de ser considerado o método padrão, é invasivo e pouco prático para sistemas comerciais de produção (ZHENG et al., 2022). No entanto, os avanços nas tecnologias de sensores fornecem alternativas não invasivas e eficientes para monitorar o estado de conforto animal, sendo a termografia por infravermelho uma alternativa para medir a temperatura da superfície da pele sem a necessidade de contato, obtendo informações sobre o estado térmico do animal sem causar estresse, podendo ser utilizada para desenvolver sistemas que ofereçam monitoramento dos animais em tempo real sem interferência humana (LI et al., 2022). As técnicas de análise de imagem oferecem oportunidades para detecção de oscilações provocadas por enfermidades e/ou respostas fisiológicas que garantem a homeotermia, capturando variações de temperatura da superfície corporal (McMANUS et al., 2022). O emprego desses recursos atende à necessidade de monitoramento dos animais 24 horas por dia, 7 dias por semana, de maneira não invasiva, fornecendo informações sobre o conforto térmico animal (CONGDON et al., 2022). A partir das imagens é possível selecionar regiões de interesse e analisar pontos específicos, como um determinado número de pixels e classificá-los com base nos níveis de conforto e desconforto, oferecendo informações sobre a condição de alojamento dos animais, com o auxílio de máquina de vetores de suporte (SVM), um algoritmo robusto de aprendizado de máquina, com eficácia em tarefas de classificação (HUANG et al., 2022). O aprendizado de máquina possui técnicas de apoio à pecuária de precisão que produzem estimativas e previsões de variáveis para locais não amostrados, melhorando a produtividade do empreendimento. A integração de algoritmos de aprendizado de máquina, com dados de imagens térmicas oferece uma nova abordagem para monitorar e classificar remotamente o conforto térmico de animais em sistemas de produção pecuária (REZENDE et al., 2022). O SVM é um algoritmo de aprendizado supervisionado de máquina amplamente utilizado em problemas de classificação e regressão, devido à sua alta capacidade de generalização e desempenho (CONG et al., 2022). O desenvolvimento de um modelo computacional utilizando um algoritmo de máquina de vetores de suporte para classificar o conforto térmico de suínos com base em imagens termográficas infravermelhas representa um avanço significativo na pecuária de precisão. Ao combinar técnicas de aprendizagem automática com tecnologia de imagem térmica, este estudo contribui para a melhoria das práticas de avaliação do conforto térmico de suínos, promovendo abordagens mais eficientes e baseadas em dados para a gestão pecuária. Nesse sentido, o objetivo deste estudo foi desenvolver modelo computacional usando algoritmo de máquina de vetores de suporte para classificar o conforto térmico de suínos, com base em imagens obtidas por câmera termográfica por infravermelho.

MATERIAL E MÉTODOS: O experimento foi realizado no campus da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) de Serra Talhada. O clima da região é do tipo quente e seco, com temperatura média anual de 24,8 °C e umidade relativa do ar de 62,5% (JARDIM FERRAZ et al., 2019). A utilização dos animais do experimento foi aprovada pelo CEUA/UFRPE (Comitê de Ética de Utilização de Animais) da Universidade Federal Rural de Pernambuco sob o protocolo 23082.021090/2016-81. A coleta de dados ocorreu ao longo do segundo semestre de 2017, entre agosto a dezembro com uma duração de 92 dias. As baias eram de alvenaria com área de 6 m² cada, implantadas na orientação leste-oeste, com telhado de uma água e cobertura de telha cerâmica e piso concretado, equipadas com comedouros e bebedouros apropriados. As variáveis meteorológicas registradas foram a temperatura do bulbo seco (T_{bs}; C°), a umidade relativa do ar (UR; %) coletadas por meio de dataloggers modelo HOBO U12-12 (Onset Computer Corporation Bourne, MA, USA) e a temperatura de globo negro (T_g; C°) medida com auxílio de uma esfera oca de polietileno pintado de preto fosco, com 15 cm de diâmetro, na qual foi inserido um sensor térmico que registrou a temperatura e armazenou no datalogger.

Foram utilizados 27 suínos, submetidos a diferentes condições de variação, que incluíam baias sem climatização (T), baias com ventilação forçada (VF) e baias com sistema de resfriamento adiabático evaporativo (SRAE). Durante o experimento foram registradas a temperatura retal (TR), a frequência respiratória (FR) e a temperatura superficial da pele (TSP) às 00h00, 12h00 e 16 h00. A TSP foi obtida por meio de imagens termográficas dos suínos por meio de um termovisor infravermelho da marca FLIR modelo E60. O termovisor apresenta escala de temperatura com sensibilidade térmica variando de -20 a 120°C, com precisão de leitura de $\pm 2^\circ\text{C}$, resolução IR de 320 x 240 pixels e o software utilizado para descarregar as imagens foi o FLIR Tools que apresentava compatibilidade com o equipamento, sob uma distância de um 1 m entre a câmera termográfica e o animal. Essa distância foi suficiente para enquadrar todo o corpo do animal. Os registros foram feitos semanalmente. As imagens foram ajustadas com base nas condições atmosféricas locais, considerando a temperatura e umidade relativa do ambiente. Além disso, a emissividade também foi corrigida para 0,98 (TUCKER et al., 2023). As correções foram feitas de forma manual no software FLIR Tools. A região estabelecida para o estudo foi a lateral direita do animal, onde se analisou a temperatura de superfície, conforme o procedimento sequencial apresentado na Figura 1.

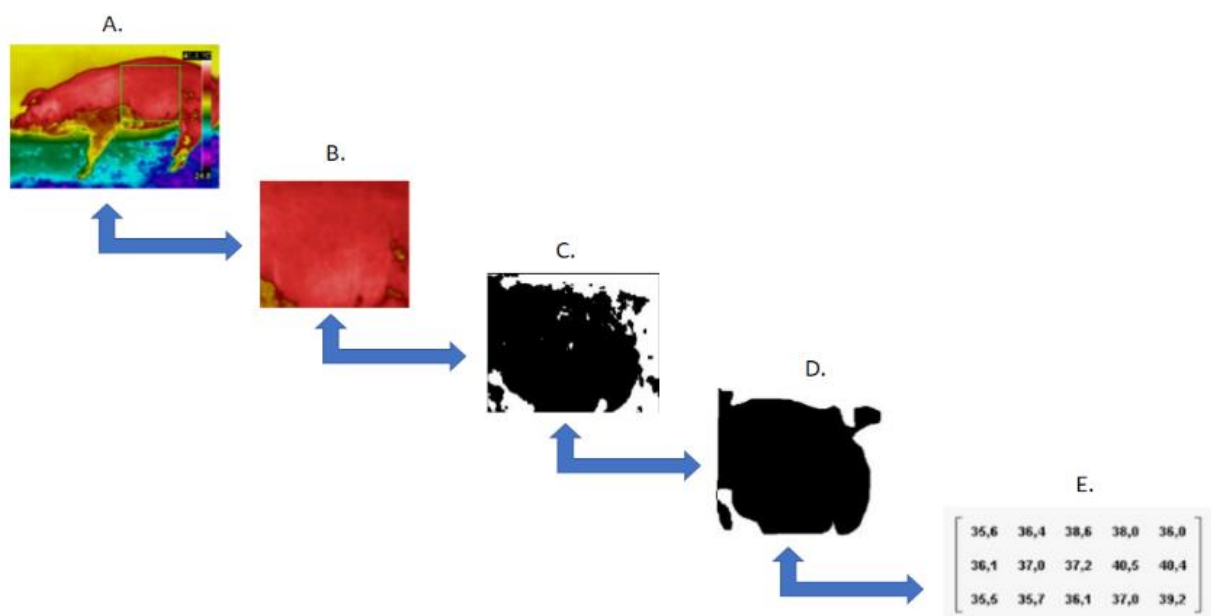


FIGURA 1. Esquema de extração das temperaturas. Recorte da imagem na região lateral (A), matriz de imagem obtida após o recorte da imagem térmica (região de interesse) (B), aplicação de técnicas de erosão e dilatação (C e D) e extração das matrizes de temperatura (E).

Essa área levou em consideração a resolução espacial da matriz em Dots Per Inch (DPI) que representava o número de pontos encontrados em uma polegada de uma determinada imagem (GONZALEZ & WOODS, 2010).

As imagens foram processadas utilizando Opencv, com o emprego da ferramenta *crop* para fazer o recorte da região lateral nas imagens térmicas e obtenção das matrizes que foram trabalhadas na análise, em que se aplicou os operadores de dilatação e erosão, com uso das funções *dilate* e *erode*, para isolar elementos individuais e junção de elementos díspares na imagem. Em seguida gerou-se uma máscara binária de onde se extraiu as informações temperatura e coordenadas (x,y), média, desvio padrão, variância e curtose de toda a matriz aplicando interpolação e extraíndo o índice de conforto (Eq. 1) apenas da região segmentada (pixels 0).

$$\text{Índice de conforto} = \text{Quantidade de pixels } 1 \times 100 / \text{Total de pixels} \quad (1)$$

Foram analisadas a correlação entre a TSP e a TR dos animais pela determinação do coeficiente de Pearson ($p = 0,05$) e o intervalo de confiança de 95%. Para classificar a TSP dos animais em conforto e desconforto, foi empregado o SVM e desenvolvido na linguagem Python que analisou as imagens pixel a pixel. O conjunto de dados foi dividido aleatoriamente em treinamento e conjuntos de teste. O número de pixels para treinamento e teste foi de 80 e 20% do total, respectivamente. Os hiperparâmetros do SVM, como kernel, margem de separação e penalidade por erro foram selecionados por meio da técnica de busca em grade. Para avaliar o desempenho do classificador SVM, a característica de operação do receptor (ROC) foi calculada com base nas taxas de verdadeiro positivo e falso negativo. A área sob a curva ROC (AUC) que varia de 0,5 (sem capacidade de discriminação) a 1 (melhor capacidade de discriminação) também foi calculada. Os resultados foram comparados aos valores do índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU).

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Foi possível visualizar as variações da temperatura na superfície dos animais nos diferentes sistemas de climatização. Tais informações refletem a variabilidade das temperaturas superficiais da pele dos animais relacionadas com os sistemas de climatização e são úteis para identificar o estresse térmico dos animais. A Tabela 1 apresenta as variáveis fisiológicas dos animais.

TABELA 1. Variáveis fisiológicas dos animais

Fator de variação	TR (°C)	FR (mov. min ⁻¹)	TSP (°C)
SRAE	37,50	55,00	35,74
VF	38,50	61,00	36,04
T	39,00	76,00	38,01

SRAE – Sistema de resfriamento adiabático evaporativo; VF – Ventilação forçada; T – Sem climatização artificial; TR – Temperatura Retal; FR – Frequência Respiratória; TSP – Temperatura Superficial da Pele

Os animais das baias sem sistema de climatização (T) apresentaram os valores mais altos de TR, FR e TSP, com valores da ordem de 39,00°C, 76 mov. min⁻¹ e 38,01°C, respectivamente. Nas baias equipadas com SRAE os suínos apresentaram TR de 37,50°C, FR 55 mov. min⁻¹ e TSP de 35,74°C, o que indica condição de conforto para os animais submetidos ao SRAE e limiar de estresse térmico quando os suínos não dispunham de climatização (T). Os animais alojados nas baias equipadas com VF apresentaram respostas fisiológicas intermediárias, o que indica situação em que os animais podem ter experimentado algum grau de estresse térmico (TABELA 1). O monitoramento das variáveis fisiológicas dos suínos é essencial para avaliar seu conforto térmico e garantir seu bem-estar em ambientes sem sistema de climatização. Essas medidas podem fornecer informações sobre a capacidade dos animais de regular sua temperatura corporal e adaptá-los às condições ambientais. Em situações de estresse térmico, como altas temperaturas ambientais, os suínos podem apresentar sinais de desconforto, como aumento de temperatura corporal e alterações no comportamento. Portanto, é necessário acompanhar as variações de temperatura retal e de pele para identificar precocemente possíveis problemas de saúde e implementar medidas corretivas adequadas (KADIRVEL et al., 2022). Os resultados da correlação de Pearson mostraram que os dados da TSP e os dados da TR dos animais apresentaram correlação positiva forte com valor de 0,75 ($p < 0,05$). Tais resultados indicam que quando a temperatura da pele aumenta, a temperatura retal dos animais também aumenta. A investigação da correlação entre TSP x FR apresentou correlação positiva moderada de 0,48 ($p > 0,05$), porém, o valor de p foi superior ao limiar adotado. Tais resultados inferem que com o aumento da temperatura da pele, ocorre aumento da frequência respiratória dos animais, na tentativa de dissipar o calor e garantir a manutenção da homeotermia. De acordo com Manno et al. (2006) em elevadas temperaturas, a FR dos suínos é aumentada. Christon (1988) argumenta que a FR é o principal mecanismo para perda de calor corporal nos suínos

para manutenção da homeostase térmica. Os resultados do classificador estão apresentados na Figura 2.

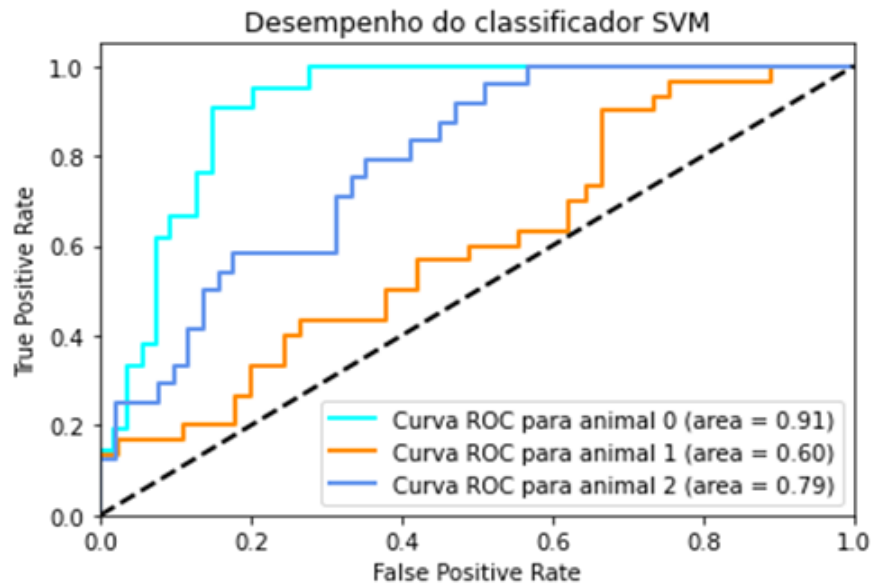


FIGURA 2. Desempenho do classificador SVM para os pixels das imagens analisadas.

Foi possível notar que o modelo apresentou maior capacidade de distinção entre o grupo de animais submetidos as baias com VF e T, comparativamente àqueles que dispunham do SRAE. A curva ROC mostra o desempenho do modelo e sua capacidade de distinguir entre os fatores de variação estudados, conforme Tabela 2.

TABELA 2. Valores de ITGU e predição do SVM

Fator de variação	ITGU	Predição (SVM)
SRAE	72,50	60%
VF	79,00	91%
T	81,50	79%

SRAE – Sistema de resfriamento adiabático evaporativo; VF – Ventilação forçada; T – Sem climatização artificial; ITGU – Índice de temperatura de globo negro e umidade

A precisão do modelo definido pela área AUC indica melhor predição para os animais submetidos a baia VF (91%), com valor de ITGU de 79,00, seguido pelos animais submetidos a baia T, onde apresentou ITGU de 81,50 e 79% de ajuste pelo SVM, enquanto os animais submetidos a baia equipada com SRAE o valor do ITGU foi de 72,50 e a predição apresentou ajuste de 60%, a partir dos valores de TSP associado aos pixels das imagens térmicas dos animais submetidos aos seus respectivos fatores de variação. O monitoramento remoto pode ajudar os produtores se suínos a melhorar a produção e evitar o desperdício de tempo. No entanto, o sistema de resfriamento evaporativo promoveu o umedecimento da superfície corporal dos animais e mesmo do piso, o que representou um desafio a mais para a detecção automática da temperatura de superfície corporal de suínos submetidos a climatização e influenciou negativamente nos ajustes das predições.

CONCLUSÕES: Os resultados mostram a viabilidade da termografia infravermelha como uma ferramenta para a avaliação do conforto térmico animal e destacam a eficácia do modelo SVM em prever o bem-estar térmico dos suínos com base em padrões de temperatura cutânea. Destaca-se a necessidade de estudos futuros para o aprimoramento no ajuste do modelo a partir

da melhoria da qualidade das imagens e minimização de fatores de interferência que prejudiquem a classificação das imagens.

AGRADECIMENTOS: A Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pelas bolsas de doutorado fornecidas aos autores.

REFERÊNCIAS:

- CHRISTON, R. The effect of tropical ambient temperature on growth and metabolism in pigs. **Journal Animal Science**. V. 66, p. 3112-3123, 1998.
- CONG, G.; YAMAMOTO, N.; INOUE, T.; MAEGAMI, Y.; OHNO, M.; KITA, S.; YAMADA, K. On-chip bacterial foraging training in silicon photonic circuits for projection-enabled nonlinear classification. **Nature Communications**, v. 13, n. 1, 2022.
- CONGDON, J.; HOSSEINI, M.; GADING, E.; MASOUDI, M.; FRANKE, M.; MACDONALD, S. The future of artificial intelligence in monitoring animal identification, health, and behaviour. **Animals**. v. 12, p. 1711, 2022.
- GONZALEZ, R.; WOODS, R. E. **Processamento Digital de Imagens**, 3ª edição. ISBN 9788576054016, Pearson, 2010.
- HUANG, K.; LU, S.; LI, X.; CHEN, W. Using random forests to predict passengers' thermal comfort in underground train carriages. **Indoor and Built Environment**, v. 32, p. 343-354, 2022.
- KADIRVEL, G.; GONMEI, C.; SINGH, N. S. Assessment of rectal temperature using infrared thermal camera in pigs. **Indian Journal of Science and Technology**, v. 15, n. 40, p. 2041-2046, 2022.
- LI, Y.; WU, G.; SONG, G.; LU, S.; WANG, Z.; SUN, H.; WANG, X. Soft, pressure-tolerant and flexible electronic sensors for detection in harsh environments. **Sensors**. v. 7, p. 2400-2409, 2022.
- MANNO, M. C.; de OLIVEIRA, R. F. M.; DONZELE, J. L.; de OLIVEIRA, W.P.; R. G. M. V. VAZ; B. A. N.; SILVA, E. P.; SARAIVA, E. K.; LIMA, R. S. 2006. Efeitos da temperatura ambiente sobre o desempenho de suínos dos 30 aos 60 kg. **Revista Brasileira de Zootecnia**. V. 35, p. 471-477, 2006.
- McMANUS, R.; BODEN, L.; WEIR, W., VIORA, L.; BARKER, R. N.; KIM, Y.; YANG, S. Thermography for disease detection in livestock: a scoping review. **Frontiers in Veterinary Science**, v. 9, 2022.
- REZENDE, E. D. S. J.; MOURA, D. J.; PEREIRA, J. L. D. A. R.; FERRAZ, M. A. J.; FERRAZ, G. A. J. F. FARIA, J. E. F.; FERREIRA, Y. D. C. G. Análise de associação entre imagens termográficas e diagnóstico de mastite / analysis of association between thermographic images and diagnosis of mastitis. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 3, p. 15532-15542, 2022.
- TUCKER, B. S.; JORQUERA-CHAVEZ, M.; PETROVSKI, K. R.; CRAIG, J. R.; MORRISON, R. S.; SMITS, R. J.; E KIRKWOOD, R. N. Comparing surface temperature locations with rectal temperature in neonatal piglets under production conditions. **Journal of Applied Animal Research**, v. 51, n. 1, p. 212–219, 2023.
- ZHENG, S.; ZHOU, C.; JIANG, X.; HUANG, J. E.; XU, D. Progress on infrared imaging technology in animal production: a review. **Sensors**, v. 22, p. 705, 2022.