

ZOOTECNIA DE PRECISÃO E AMBIÊNCIA NA SUINOCULTURA: REVISÃO SISTEMÁTICA SOBRE RESFRIAMENTO LOCALIZADO E MONITORAMENTO CONTÍNUO

Rodrigo Henrique Risso Aires Alves¹;

UFAM, Humaitá, Amazonas.

<https://orcid.org/0000-0003-4257-6326>

Janaína Paolucci Sales de Lima²;

UFAM, Manaus, Amazonas.

<https://orcid.org/0000-0003-3771-3891>

RESUMO: O avanço da suinocultura intensiva impõe desafios substanciais no controle da ambiência, especialmente frente aos impactos deletérios do estresse térmico em sistemas de confinamento. Tradicionalmente, o controle climático prioriza o resfriamento de todo o volume de ar das instalações, uma abordagem que apresenta alto custo energético e ineficiência frente às necessidades individuais. Este estudo objetivou realizar uma revisão sistemática da literatura nas bases SciELO, Scopus e PubMed, , focando na transição tecnológica para sistemas de resfriamento localizado e no uso da Zootecnia de Precisão (PLF) para monitoramento contínuo. A discussão integrada entre os autores selecionados evidencia que tecnologias de alívio térmico direcionado dependem fortemente da interação etológica do animal. Assim, ferramentas não invasivas como a identificação por radiofrequência (RFID) e a visão computacional tornam-se indispensáveis para quantificar a taxa de acesso, o consumo hídrico e a temperatura de superfície sem alterar a dinâmica social da baia. Conclui-se que a adoção da Suinocultura 5.0, guiada por algoritmos de inteligência artificial, converte avaliações comportamentais subjetivas em dados matemáticos precisos, permitindo que a ambiência atenda às demandas biológicas de maneira individualizada, sustentável e eficiente.

PALAVRAS-CHAVE: Suinocultura 5.0. Conforto térmico. Visão computacional.

PRECISION LIVESTOCK FARMING AND AMBIENCE IN SWINE PRODUCTION: SYSTEMATIC REVIEW ON LOCALIZED COOLING AND CONTINUOUS MONITORING

ABSTRACT: The advancement of intensive swine production imposes substantial challenges in environmental control, especially regarding the deleterious impacts of heat stress in confinement systems. Traditionally, climate control has prioritized cooling the entire air volume of the facilities, an approach that presents high energy costs and inefficiency regarding individual needs. This study aimed to conduct a systematic literature review in the SciELO, Scopus, and PubMed databases, focusing on the technological transition to localized cooling systems and the use of Precision Livestock Farming (PLF) for continuous monitoring. The integrated discussion among the selected authors shows that targeted thermal relief technologies rely heavily on the animal's ethological interaction. Thus, non-invasive tools such as radio frequency identification (RFID) and computer vision become indispensable to quantify access rates, water consumption, and surface temperature without altering the social dynamics of the pen. It is concluded that the adoption of Swine Production 5.0, guided by artificial intelligence algorithms, converts subjective behavioral assessments into precise mathematical data, allowing the environment to meet biological demands in an individualized, sustainable, and efficient manner.

KEY-WORDS: Swine Production 5.0. Thermal comfort. Computer vision.

INTRODUÇÃO

A eficiência e a qualidade da suinocultura contemporânea encontram-se intrinsecamente conectadas à implantação de um monitoramento ambiental rigoroso no interior das instalações zootécnicas. Tendo em vista que as oscilações climáticas globais impõem desafios severos e constantes para a manutenção da homeostase corporal, o estresse térmico consolida-se como um dos principais fatores limitantes para a expressão do bem-estar e do potencial genético das espécimes suínas.

Majoritariamente, a resposta do setor técnico baseou-se na implementação de sistemas de resfriamento globais, visando à adequação do microclima geral do galpão. Contudo, o resfriamento de grandes volumes de ar apresenta consideráveis perdas energéticas e hídricas, além de ignorar a variabilidade comportamental e térmica dentro de lotes alojados coletivamente. Para superar esse gargalo, a pesquisa científica recente impulsiona uma mudança de paradigma: o foco recai sobre as tecnologias de Zootecnia de Precisão (PLF) e o resfriamento localizado, permitindo um monitoramento contínuo e não invasivo das necessidades individuais. Diante disso, o objetivo central desta revisão sistemática é analisar a aplicação de sistemas de resfriamento direcionado em conjunto com inovações tecnológicas de monitoramento (PLF) e debater como a integração dessas ferramentas redefine o manejo de ambiência na suinocultura.

REFERENCIAL TEÓRICO

Transição do Resfriamento Global para o Localizado

Atualmente, a engenharia de biossistemas dedica consideráveis esforços ao desenvolvimento de tecnologias que mitiguem os efeitos deletérios do microclima em sistemas intensivos, sem comprometer a sustentabilidade dos recursos. Observa-se uma nítida transição tecnológica: o modelo de resfriamento de todo o volume de ar da instalação está sendo gradativamente substituído pelo uso de resfriamento localizado. Sistemas como ventilação direcionada diretamente aos animais, placas de resfriamento de piso e gotejamento automatizado (sprinklers) apresentam eficiências energética e hídrica substancialmente superiores. Entretanto, o sucesso biológico dessas intervenções localizadas é estritamente dependente da aceitação e da interação comportamental ativa do animal com a tecnologia disponibilizada na baia.

Zootecnia de Precisão (PLF) e o Monitoramento Individualizado

Para avaliar a interação do animal com esses sistemas de alívio térmico, a Zootecnia de Precisão (PLF - *Precision Livestock Farming*) consolida-se como uma ferramenta de altíssimo nível para o manejo e a pesquisa de suínos. A aplicação dessas ferramentas modernas ultrapassa os limites e os vieses da observação visual humana, que costuma ser intermitente e subjetiva.

O uso de tecnologias de fronteira — que incluem sensores infravermelhos vestíveis, etiquetas de identificação por radiofrequência (RFID) e avançados algoritmos de visão computacional — permite a coleta de dados de modo ininterrupto, automatizado e, fundamentalmente, não invasivo. Essa matriz tecnológica rastreia o movimento, a preferência térmica e o exato tempo de permanência de cada indivíduo nas zonas de resfriamento. Quando essas soluções são transpostas para a avaliação de animais em lote, a PLF converte variáveis etológicas qualitativas em robustos indicadores matemáticos, assegurando que o controle térmico atenda com precisão às demandas fisiológicas do rebanho.

METODOLOGIA

Este estudo caracteriza-se como uma pesquisa bibliográfica, de natureza exploratória, delineada como uma revisão sistemática da literatura. O levantamento empírico de dados foi conduzido mediante consultas sistemáticas às bases indexadas SciELO, Scopus (ScienceDirect) e PubMed, abrangendo publicações do recorte temporal de 2021 a 2026.

A estratégia de busca estruturou-se pelo cruzamento de descritores científicos controlados em inglês e português, utilizando os operadores booleanos AND e OR através

da seguinte *string* central: (“Precision livestock farming” OR “PLF”) AND (“Swine” OR “Pigs”) AND (“Localized cooling” OR “Thermal comfort”) AND (“Continuous monitoring” OR “Computer vision”). Os critérios de inclusão contemplaram exclusivamente artigos originais revisados por pares que investigassem o emprego de tecnologias de PLF integradas ao manejo de conforto térmico ou avaliação não invasiva do bem-estar. Foram excluídos estudos focados estritamente na modelagem climática macroestrutural sem mensuração do comportamento individual animal.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise sistemática da literatura demonstra que a evolução da ambiência suinícola exige uma quebra de paradigmas operacionais, onde a gestão do microclima passa a ser ditada pela tecnologia de dados. Inaugurando a discussão acerca da necessidade dessa adaptação, Viveiros (2022) e Machado (2023) alertam que o estresse térmico em zonas de clima tropical (caracterizado por altas temperaturas e alta umidade) sobrecarrega severamente as vias fisiológicas dos suínos.

Frente a essa limitação fisiológica, a intervenção física nos galpões precisa ser direta. Stonko et al. (2023) e Brandt et al. (2022) argumentam de forma complementar que a adoção de sistemas de resfriamento localizado, como o resfriamento de piso ou a ventilação direcionada de alta vazão no focinho, reduz com alta eficácia a temperatura corporal sistêmica. No entanto, os autores ressaltam que tais recursos não possuem utilidade zootécnica se a interação com o animal não for quantificada e validada.

É exatamente nesse gargalo avaliativo que a integração de tecnologias ganha protagonismo no debate acadêmico. Akinyemi et al. (2025) e Buonaiuto et al. (2026) defendem enfaticamente o emprego da Zootecnia de Precisão (PLF) nas granjas. Segundo os pesquisadores, as tecnologias de monitoramento contínuo são as únicas capazes de superar as análises baseadas em médias de lote. Detalhando o arcabouço tecnológico que permite essa precisão, Ngo Bibinbe et al. (2025) e Compte et al. (2025) demonstram como o uso integrado de sistemas de identificação por radiofrequência (RFID) nos bebedouros e algoritmos de visão computacional em tempo real mapeia trajetórias e identifica o uso isolado dos recursos de resfriamento por cada suíno, tudo de forma indolor e sem perturbar a complexa dinâmica de dominância hierárquica.

Elevando o patamar desse controle, García-Vázquez (2024) e Santos (2025) introduzem no meio literário o conceito consolidado da “Suinocultura 5.0”. Eles estipulam que o monitoramento gerado pelos sensores deve ser alimentado em sistemas de Inteligência Artificial para não apenas alertar sobre o estresse, mas para modular o ambiente preditivamente. Corroborando a importância da inteligência artificial, Méndez et al. (2026) explicam que os algoritmos modernos traduzem posturas adaptativas qualitativas em matrizes de dados estatísticos robustos. Quando esses dados são cruzados com índices zootécnicos e perfis metabólicos, consegue-se assegurar com clareza científica

que as intervenções de engenharia atendam de fato às exigências biológicas dos suínos de maneira individualizada, sustentável e lucrativa.

CONCLUSÃO

A consolidação desta revisão literária permite atestar que a engenharia de ambiência na suinocultura encontra-se em uma fase de transição irreversível, abandonando o dispendioso manejo macroclimático em prol do resfriamento localizado. Entretanto, o êxito de pisos resfriados, aspersores ou ventilação direcionada depende de sua validação por meio do comportamento animal.

Conclui-se que o uso das ferramentas da Zootecnia de Precisão (PLF), balizadas por algoritmos de visão computacional e leitura RFID, é a pedra angular da produção moderna (Suinocultura 5.0). Somente através do monitoramento automatizado e não invasivo torna-se possível entender como cada suíno interage com o ambiente, convertendo as ações de resfriamento em reais ganhos de desempenho, reduzindo o desperdício de água e energia e alcançando o bem-estar animal a níveis incontestáveis.

DECLARAÇÃO DE INTERESSES

Nós, autores deste artigo, declaramos que não possuímos conflitos de interesses de ordem financeira, comercial, político, acadêmico e pessoal.

REFERÊNCIAS

AKINYEMI, B. E.; SIEGFORD, J. M.; JESSIMAN, L.; TURNER, S. P.; JOHNSON, A. K.; AKAICHI, F. Precision livestock farming usage among a subset of U.S. swine producers: Insights through a structural equation modeling approach. **Smart Agricultural Technology**, v. 10, p. 100839, 2025.

BRANDT, P.; GRØNVIG, M.; RONG, L.; ZHANG, G.; GAUTAM, K. R.; KRISTENSEN, J. K.; BJERG, B. The effect of floor cooling on respiration rate and distribution of pigs in the pen. **Livestock Science**, v. 257, p. 104832, 2022.

BUONAIUTO, G.; NANNONI, E.; SARDI, L.; BELPERIO, S.; SANZÒ, C.; MARTELLI, G. Invited Review: Precision livestock farming technologies in swine intensive production. **Applied Animal Science**, v. 42, n. 3, p. 175-202, 2026.

COMPTE, A.; YAN, Y.; CORTÉS, X.; ESCALERA, S.; JACQUES-JUNIOR, J. C. S. Housed pig identification and tracking for precision livestock farming. **Expert Systems with Applications**, v. 293, p. 128466, 2025.

GARCÍA-VÁZQUEZ, F. A. Artificial intelligence and porcine breeding. **Animal Reproduction Science**, v. 269, art. 107538, 2024.

MACHADO, F. F. S. Avaliação do ambiente térmico do setor produtivo de suinocultura da Universidade Federal Rural da Amazônia Campus Belém-PA. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2023.

MÉNDEZ, D. A.; JARQUE-DURÁN, M.; CALVET, S. Machine learning-based multivariate time-series forecasting for environmental monitoring in pig houses under high stochasticity. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 250, p. 111940, 2026.

NGO BIBINBE, S.; Maignel, L.; GAGNON, P.; AHLOY-DALLAIRE, J.; PAQUET, É. Long term pig tracking with computer vision: development of a hidden Markov model using individual identification. **Animal - Science proceedings**, v. 16, n. 6, p. 862, 2025.

PAGE, M. J.; MCKENZIE, J. E.; BOSSUYT, P. M.; BOUTRON, I.; HOFFMANN, T. C.; MULROW, C. D. *et al.* The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. **Systematic Reviews**, v. 10, n. 1, p. 89, 2021.

SANTOS, C. G. **Suinocultura 5.0: inteligência artificial aplicada à saúde e bem-estar animal**. Tese de Repositório Institucional, 2025.

STONKO, D. P.; RICHMOND, M. J.; EDWARDS, J.; ABDOL, H.; TREFFALLS, R.; ELANSARY, N.; PATEL, N.; BADJATIA, N.; JEWHRST, K.; DUPNIK, M.; DIMATTEO, K.; MYERS, R.; MORRISON, J. J. High flow cooled air can decrease brain temperature without injuring the snout or brain in Swine. **Surgery in Practice and Science**, v. 12, p. 100154, 2023.

VIVEIROS, K. K. de S. Ambiência e manejo de espera pré-abate de suínos em condições de clima tropical: influência nos indicadores termofisiológicos e de qualidade da carne. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022.