

## SISTEMA AUTOMÁTICO PARA O MONITORAMENTO DO AMBIENTE EXTERNO E INTERNO DE OVOS FÉRTEIS

SÉRGIO LUÍS DE CASTRO JÚNIOR<sup>1</sup>, GLAUBER DA ROCHA BALTHAZAR<sup>2</sup>,  
IRAN JOSÉ OLIVEIRA DA SILVA<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Eng. de Biossistemas, Doutorando em Engenharia de Sistemas Agrícolas, Núcleo de Pesquisa em Ambiência, ESALQ/USP, Piracicaba-SP, sergio.castro@usp.br

<sup>2</sup> Bach. Sistemas da Informação, Doutorando em Engenharia de Sistemas Agrícolas, Núcleo de Pesquisa em Ambiência, ESALQ/USP, Piracicaba-SP.

<sup>3</sup> Eng. Agrônomo, Prof. Titular Doutor, Núcleo de Pesquisa em Ambiência, ESALQ/USP, Piracicaba-SP.

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

**RESUMO:** A incubação comercial é suporte para o sucesso da indústria avícola, devendo acompanhar as tendências tecnológicas e a precisão de dados que acompanha todo o setor. Embora o ambiente de incubação tenha um grande impacto na embriogênese e no desempenho das aves após a eclosão, ainda há um conhecimento limitado sobre como os estímulos térmicos, sonoros e luminosos externos são filtrados pelas cascas dos ovos e percebidos pelos embriões. O objetivo deste estudo foi desenvolver e calibrar um sensor multinível destinado ao monitoramento simultâneo do ambiente externo (incubadora) e do interior de ovos férteis. As medições no ambiente externo focaram na temperatura do ar e na umidade relativa dentro das incubadoras, enquanto que no interior dos ovos foram mensuradas a temperatura da casca e interna, luminosidade e nível de pressão sonora. O sensor foi elaborado usando um microcontrolador ATmega328 e prototipagem de código aberto, com componentes eletrônicos compatíveis à estrutura dos ovos. A calibração ocorreu em um ambiente controlado, onde o sistema desenvolvido foi comparado com dispositivos comerciais, alcançando coeficientes de determinação ( $R^2$ ) superiores a 0,90 para todas as variáveis analisadas. Estes resultados destacam que o sistema desenvolvido é uma inovação prática para o monitoramento em tempo real de variáveis ambientais críticas dentro de um processo de incubação.

**PALAVRAS-CHAVE:** estímulos ambientais, ovos férteis, zootecnia de precisão

### AUTOMATIC SYSTEM FOR MONITORING THE EXTERNAL AND INTERNAL ENVIRONMENT OF FERTILE EGGS

**ABSTRACT:** Commercial incubation is crucial for the success of the poultry industry, and it should keep up with technological trends and the precision of data that permeates the entire sector. Although the incubation environment greatly influences embryogenesis and the performance of birds post-hatching, little is known about how external thermal, auditory, and light stimuli are filtered by the eggshells and perceived by the embryos. This study aimed to create and calibrate a multi-level sensor for simultaneous monitoring of the external environment (hatching machine) and the interior of fertile eggs. External environment measurements focused on air temperature and relative humidity inside incubators, while the interior of the eggs was analyzed for shell and internal temperature, luminosity, and sound

pressure level. The sensor was developed using an ATmega328 microcontroller and open-source prototyping, with electronic components compatible with the egg structure. Calibration occurred in a controlled environment, where the developed system was compared with commercial devices, achieving determination coefficients ( $R^2$ ) higher than 0.90 for all variables analyzed. These results highlight that the developed system is an effective innovation for real-time monitoring of critical environmental variables within an incubation process.

**KEYWORDS:** environmental stimuli, fertile eggs, precision zootechnics

**INTRODUÇÃO:** A embriogênese é uma fase crucial que compreende um terço da vida total dos frangos de corte, com influência significativa no sucesso da indústria avícola. Durante os aproximadamente 21 dias de desenvolvimento embrionário, fatores ambientais como temperatura e umidade do ar são fundamentais para a qualidade dos pintos recém-nascidos (MESQUITA et al., 2021), sendo estes fatores amplamente monitorados em incubatórios comerciais. A temperatura do ambiente de incubação é especialmente crítica, afetando diretamente os mais diversos aspectos que vão desde características físicas das aves (visíveis) a outros importantes fatores como o status imune e nutricional, até a presença de infecções ou distúrbios fisiológicos (MOLENAAR et al., 2011; WIJNEN et al., 2020). Entretanto, pesquisas recentes reconhecem o processo de incubação como um ambiente mais complexo e têm ampliado o escopo para outros estímulos ambientais, como a luz e o som, demonstrando impacto significativo destes fatores físicos na embriogênese das aves. Estudos indicam, dessa forma, que a capacidade das aves de perceber luz e som já é iniciado desde os estágios iniciais do desenvolvimento embrionário, sendo assim variáveis relevantes para seu crescimento e sobrevivência (LI et al., 2021). Contudo, a ausência de sensores adequados para medir essas variáveis dentro dos ovos tem sido um desafio para a pesquisa e a indústria (DONOFRE et al., 2018), uma vez que equipamentos comerciais não são compatíveis com o tamanho do ovo, não são integrados e muitas vezes não oferecem dados em tempo real. Neste contexto, a prototipagem eletrônica surge como uma solução. Sensores *open source* oferecem uma alternativa de baixo custo, customizável e multifuncional para medir propriedades ambientais em diversos contextos (ISLAM et al., 2022; BEYHAN, 2023). Tais dispositivos podem superar as limitações dos sensores comerciais, especialmente em aplicações específicas como a incubação de ovos. Neste cenário, surge a proposta de desenvolver e calibrar um sistema automático que possa monitorar o ambiente externo e interno de incubação de ovos férteis, integrando a tecnologia *open source* na elaboração de um sensor de baixo-custo.

**MATERIAL E MÉTODOS:** Para atender aos objetivos deste estudo, foi necessário criar um sistema de monitoramento unificado para o processo de incubação de ovos férteis. Partiu-se da premissa de que o sistema de incubação compreende dois ambientes distintos: o primeiro é o ambiente da máquina de incubação artificial, as incubadoras (ambiente externo - macroclima), e o segundo é o ambiente dentro do ovo, em contato direto com o embrião (ambiente interno - microclima). As variáveis de interesse para o ambiente externo (AE) incluíram a Temperatura do ar ( $T_{ar}$ , °C) e a Umidade relativa (UR, %). Para o ambiente interno (AI), foram consideradas a Temperatura da casca ( $T_c$ , °C), Temperatura interna ( $T_{in}$ , °C), Luminosidade ( $L_{in}$ , lux) e Nível de pressão sonora (NPS, dB), conforme destaca a Figura 1.

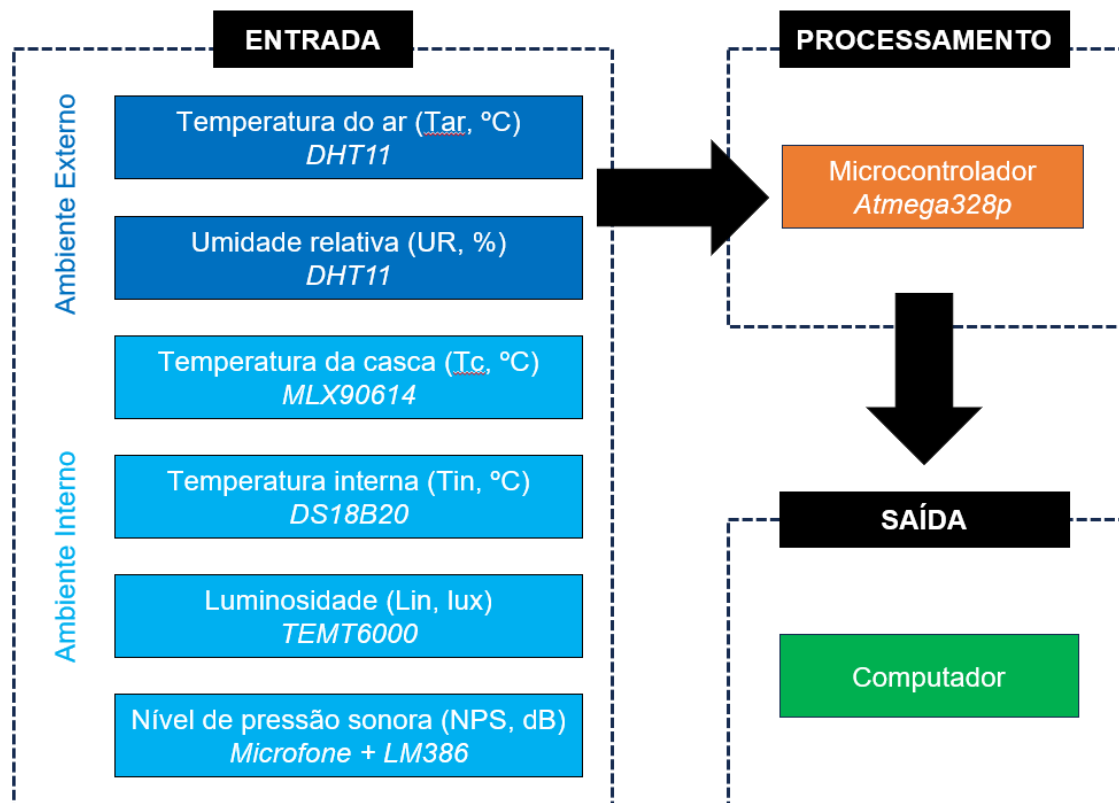


FIGURA 1. Diagrama de processamento do sensor multinível.

O dispositivo empregou sensores como DHT11 (para medição da temperatura e umidade do ar), DS18B20 (temperatura interna), MLX90614 (temperatura de casca), TEMT6000 (luminosidade interna) e Microfone + LM386 (nível de pressão sonora interna), e foi desenvolvido na plataforma de prototipagem WeMos com o microcontrolador ATmega328 (Figura 2). O software Arduino IDE foi utilizado para desenvolver a lógica de programação em linguagem C++, compatível com o microcontrolador Atmega328p utilizado na prototipação.

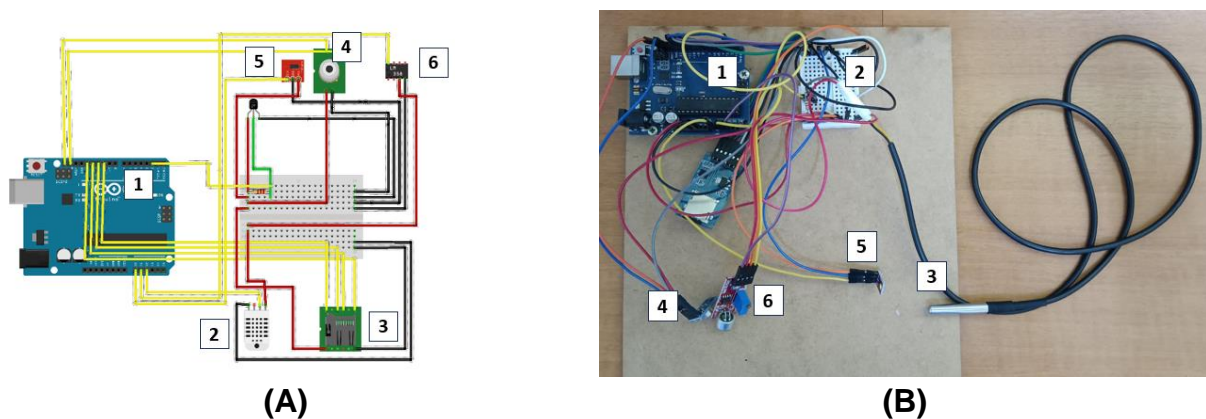


FIGURA 2. Prototipação esquemática (A) e física (B) do sensor multinível. No microcontrolador (1), foram inclusos sensores para coleta da temperatura e umidade relativa do ambiente (2), temperatura Interna (3), temperatura de casca (4), luminosidade (5) e nível de pressão sonora (6).

Seguindo o desenvolvimento, o sistema automático foi calibrado utilizando uma metodologia baseada em estudos de Cavaliere et al. (2018) e Donofre et al. (2018). Assim, foram ajustados os parâmetros ambientais medidos pelo sensor automático, por meio da comparação com leituras feitas por equipamentos comerciais e calibrados de fábrica. Os testes foram realizados em um laboratório fechado. As medições de temperatura e umidade do ar ocorreram numa estufa, permitindo ajustes para diferentes condições. Para a luminosidade, os testes foram feitos em um ambiente controlado, sem luz externa e com o uso de lâmpadas LED ajustáveis. Os níveis de pressão sonora foram medidos usando um som constante (ruído branco) emitido por alto-falantes, dentro de uma caixa isolante feita de Poliestireno. Para avaliar o desempenho do sensor multinível em comparação aos dispositivos padrões, foi proposta a análise de regressão. Para parâmetros como temperatura do ar, umidade, temperatura interna e luminosidade, aplicou-se o modelo de regressão linear. Já para o nível de pressão sonora, as saídas elétricas do sensor foram transformadas em dB, comparadas posteriormente com as de um decibelímetro padrão, seguindo os métodos descritos por Donofre et al. (2018), com ajustes por meio de equações polinomiais. De cada análise, foram derivados o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e a equação característica de cada modelo.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** O primeiro nível de interesse deste estudo é o ambiente da incubadora (ambiente externo). Nota-se que, para ambos os casos – Temperatura ambiente e Umidade relativa - o modelo de regressão linear (linha em vermelho) é o que melhor representa comparativamente os dois sensores avaliados, o que é característico em outros processos de calibração de temperatura e umidade relativa (KOESTOER et al., 2019; PEREIRA e RAMOS, 2022). A representação gráfica é apresentada na Figura 3.

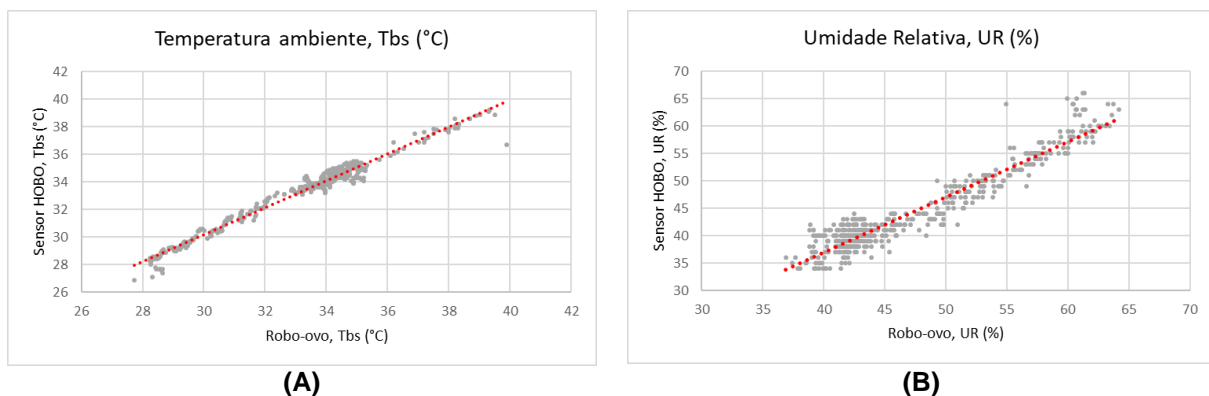


FIGURA 3. Gráficos de dispersão: temperatura externa (A) e umidade relativa (B).

O segundo nível de interesse desde estudo é o interior dos ovos férteis (ambiente interno). Neste caso, a Figura 4 apresenta os gráficos de regressão para a Temperatura interna, Temperatura de superfície, Luminosidade e Nível de pressão sonora. Assim como no monitoramento do ambiente interno, a curva de ajuste utilizada em todos os casos, exceto para o Nível de pressão sonora, foi o modelo de regressão linear, um comportamento já esperado para tais grandezas físicas (PEREIRA e RAMOS, 2022; BEYAZ e GÜL, 2022). Valores do nível de pressão sonora também foram coletados e comparados com um decibelímetro comercial. Neste caso, é importante destacar que, enquanto o dispositivo comercial oferecia o resultado diretamente em dB (decibéis), o sensor multinível oferecia o resultado final em V (volts), exibindo um comportamento de dados diferente das variáveis anteriormente avaliadas. Neste caso, o modelo de regressão que melhor se adaptou para o conjunto amostral foi o polinomial, em consonância do que é apresentado pelas metodologias de referência. Robin e Plante (2022) explicam tal fenômeno ao detalhar que o nível de pressão sonora é mensurado

em unidade decibel pelos decibelímetros comerciais, que possui como base de metrificação uma escala logarítmica.

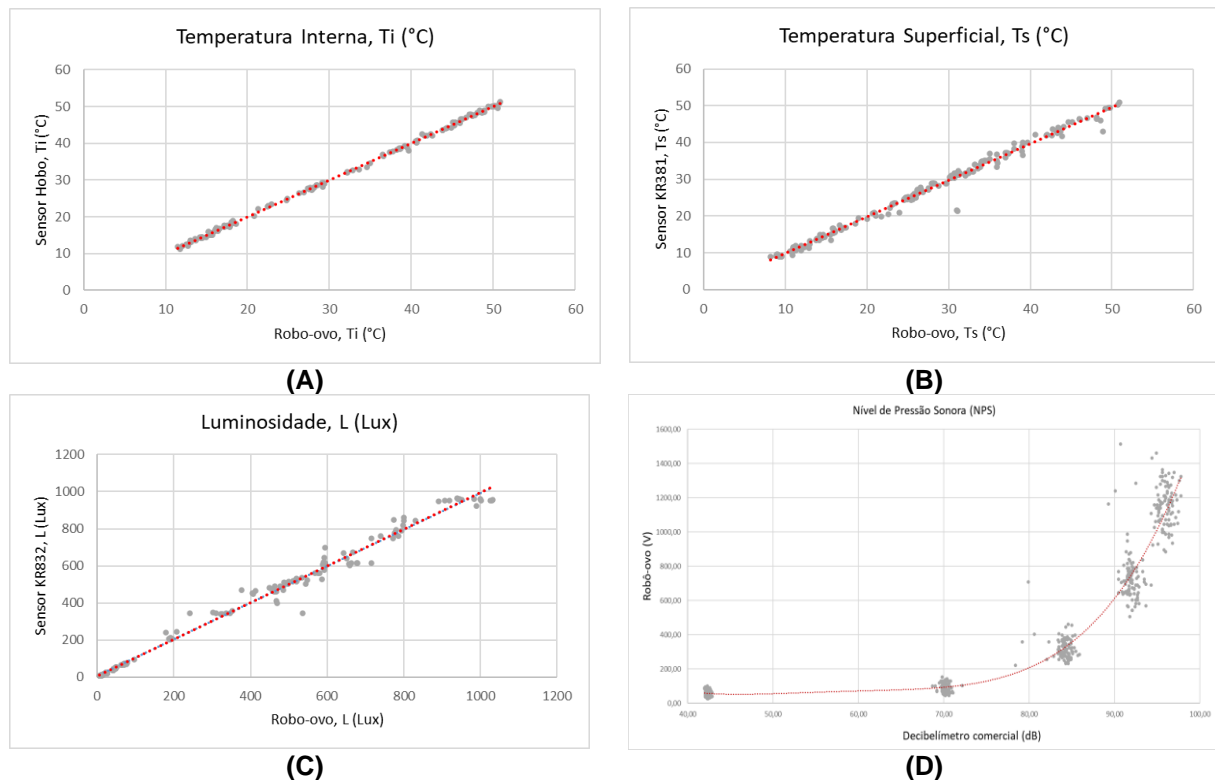


FIGURA 4. Gráficos de dispersão: temperatura interna (A), temperatura de superfície (B) e luminosidade (C) e nível de pressão sonora (D).

A Tabela 1 apresenta um resumo abrangente das variáveis de interesse, incluindo a equação característica de cada calibração e o coeficiente de determinação para os parâmetros ambientais analisados. Os resultados indicaram uma alta correlação ( $R^2 > 0,90$ ) entre as medições do sensor automático e os dispositivos de referência, validando a eficácia do sensor em ambientes controlados. Esses achados são consistentes com a literatura, que sugere uma alta concordância entre os dados coletados por novos dispositivos e equipamentos de referência quando o coeficiente de determinação é superior a 0,90, conforme argumentado por Cunha e Martins (2004). Eles destacam que coeficientes de determinação acima desse valor são altamente recomendados para garantir precisão na comparação entre sensores. Em todas as variáveis avaliadas neste estudo, os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) superaram o valor mínimo recomendado, confirmando a alta precisão dos sensores utilizados. No entanto, é crucial enfatizar que cada sensor possui características distintas no que diz respeito à calibração. As curvas de calibração são específicas para cada sensor e devem ser aplicadas apenas ao dispositivo para o qual foram desenvolvidas. Isso ocorre porque variações entre sensores podem surgir devido às características eletrônicas e microeletrônicas únicas de cada um. Portanto, a calibração é um processo contínuo e personalizado, essencial para manter a precisão dos dispositivos de medição ao longo de sua vida útil. É necessário ajustar constantemente as curvas de calibração para garantir que os sensores continuem a fornecer dados precisos e confiáveis, refletindo fielmente as condições ambientais avaliadas. Em resumo, este estudo corrobora a eficácia dos sensores automáticos calibrados corretamente, alinhando-se com os padrões da literatura e assegurando alta precisão nas medições em

ambientes controlados

TABELA 1. Equações de calibração e coeficiente de determinação das variáveis físicas coletadas pelo sensor multinível

Variável	Equação de calibração	Coefficiente de determinação (R <sup>2</sup> )
<b>Ambiente externo</b>		
Temperatura do ar (T <sub>bs</sub> , °C)	$y = 0,9988x + 0,81$	0,9755
Umidade relativa (UR, %).	$y = 1,0115x - 3,5254$	0,9152
<b>Ambiente interno</b>		
Temperatura superficial (T <sub>s</sub> , °C)	$y = 0,9936x - 0,1105$	0,9870
Temperatura interna (T <sub>in</sub> , °C)	$y = 0,9986x + 0,0376$	0,9925
Luminosidade (Lin, lux)	$y = 0,9879x + 6,1834$	0,9897
Nível de pressão sonora (NPS, dB)	$y = 0,0005x^4 - 0,1051x^3 + 8,96x^2 - 336,29x + 4732,4$	0,9315

Em termos práticos, o sensor multinível demonstrou uma notável eficiência ao registrar simultaneamente variáveis do ambiente externo das incubadoras e do interior dos ovos. Comparado às alternativas disponíveis no mercado, esse sensor oferece vantagens significativas. Utilizando ferramentas de prototipagem customizável, similarmente a estudos em outras áreas (BEYHAN, 2023), este trabalho apresenta um equipamento único que integra a coleta de importantes variáveis ambientais para o processo de incubação, facilitando a coleta e a gestão de dados. Isso elimina a necessidade de múltiplos dispositivos comerciais que operam de forma isolada e que, posteriormente, precisam ser planilhados em um único arquivo. No entanto, uma limitação deste estudo é que ele apresenta um Produto Mínimo Viável (MVP) do sensor, o qual é menos robusto e possui menor rigor técnico de fabricação quando comparado com dispositivos comerciais (KONDAVEETI et al., 2021). Essa característica abre espaço para melhorias no encapsulamento do dispositivo e novos testes utilizando módulos sensores mais avançados. Quanto ao segundo critério, o sensor multinível apresenta cabos e componentes dimensionados adequadamente para uso no ambiente interno dos ovos. Este trabalho ainda avança sobre as descobertas de Donofre et al. (2018) ao desenvolver um decibelímetro miniaturizado e adiciona novas variáveis ambientais de interesse. Equipado com sensores como termômetro de contato, termômetro de infravermelho, luxímetro e decibelímetro miniaturizados, o sensor permite medições que não são possíveis com equipamentos comerciais. Isso expande as fronteiras do conhecimento e abre novas possibilidades de pesquisa sobre as condições térmicas, acústicas e luminosas dentro dos ovos. Em resumo, o sensor multinível não só proporciona uma coleta de dados mais eficiente e integrada, mas também estabelece um novo patamar para a pesquisa na área de incubação de ovos.

**CONCLUSÃO:** O desenvolvimento do sensor multinível para o monitoramento das condições de incubação de ovos férteis apresenta um avanço para a indústria avícola. A capacidade do sensor de fornecer leituras precisas e em tempo real das condições ambientais internas e externas do ovo permite uma compreensão mais aprofundada dos efeitos dessas variáveis no desenvolvimento embrionário. Os altos coeficientes de determinação obtidos na calibração indicam uma forte concordância com os dispositivos de referência, reforçando a viabilidade técnica do sensor para aplicações futuras em zootecnia de precisão.

**AGRADECIMENTOS:** À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro ao projeto de pesquisa nº 2022/07442-8 e à Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

## **REFERÊNCIAS:**

BEYAZ, A.; GÜL, V. Determination of low-cost Arduino based light intensity sensors effectiveness for agricultural applications. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, v. 65, 2022. DOI: 10.1590/1678-4324-2022220172.

BEYHAN, S. A scaled-down model of a dairy barn to imitate a livestock building for modelling and control of environmental conditions. *Journal of Thermal Biology*, v. 114, p. 103571, 2023. DOI: 10.1016/j.jtherbio.2023.103571.

CAVALIERE, A.; CAROTENUTO, F.; DI GENNARO, F.; GIOLI, B.; GUALTIERI, G.; MARTELLI, F.; ZALDEI, A. Development of low-cost air quality stations for next generation monitoring networks: Calibration and validation of PM2.5 and PM10 sensors. *Sensors*, v. 18, n. 9, p. 2843, 2018. DOI: 10.3390/s18092843.

CUNHA, A. R.; MARTINS, D. Estudo comparativo entre elementos meteorológicos obtidos em estações meteorológicas convencional e automática em Botucatu, SP, Brasil. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v. 12, p.103-111, 2004.

DONOFRE, A. C.; DA SILVA, I. J. O.; JÚNIOR, S. L. D. C. The sensor to estimate the sound pressure level in eggs. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 154, p. 420-425, 2018. DOI: 10.1016/j.compag.2018.09.027.

ISLAM, M. M.; KASHEM, M. A.; UDDIN, J. An internet of things framework for real-time aquatic environment monitoring using an Arduino and sensors. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, v. 12, n. 1, p. 826, 2022. DOI: 10.11591/ijece.v12i1.pp826-833.

KONDAVEETI, H. K.; KUMARAVELU, N. K.; VANAMBATHINA, S. D.; MATHE, S. E.; VAPPANGI, S. A systematic literature review on prototyping with Arduino: Applications, challenges, advantages, and limitations. *Computer Science Review*, v. 40, p. 100364, 2021. DOI: 10.1016/j.cosrev.2021.100364.

KOESTOER, R. A.; PANCASAPUTRA, N.; ROIHAN, I.; HARINALDI, H. A simple calibration methods of relative humidity sensor DHT22 for tropical climates based on Arduino data acquisition system. In: *AIP Conference Proceedings*, v. 2062, n. 1. AIP Publishing, 2019.

LI, X.; RATHGEBER, B.; MCLEAN, N.; MACISAAC, J. Providing colored photoperiodic light stimulation during incubation: 1. Effects on embryo development and hatching performance in broiler hatching eggs. *Poultry Science*, v. 100, n. 9, p. 101336, 2021. DOI: 10.1016/j.psj.2021.101336.

MESQUITA, M. A.; ARAÚJO, I. C.; CAFÉ, M. B.; ARNHOLD, E.; MASCARENHAS, A. G.; CARVALHO, F. B.; STRINGHINI, J. H.; LEANDRO, N. M.; GONZALES, E. Results of hatching and rearing broiler chickens in different incubation systems. *Poultry Science*, v. 100, n. 1, p. 94-102, 2021. DOI: 10.1016/j.psj.2020.09.028.

MOLENAAR, R.; HULET, R.; MEIJERHOF, R.; MAATJENS, C. M.; KEMP, B.; VAN DEN BRAND, H. High eggshell temperatures during incubation decrease growth

performance and increase the incidence of ascites in broiler chickens. *Poultry Science*, v. 90, n. 3, p. 624-632, 2011. DOI: 10.3382/ps.2010-00970.

PEREIRA, P. F.; RAMOS, N. M. Low-cost Arduino-based temperature, relative humidity and CO2 sensors-An assessment of their suitability for indoor built environments. *Journal of Building Engineering*, v. 60, p. 105151, 2022. DOI: 10.1016/j.job.2022.105151.

ROBIN, O.; PLANTE, C. An illustrated tutorial for logarithmic scales and decibels in acoustics. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 152, n. 5, p. 2880-2892, 2022. DOI: 10.1121/10.0015144.

WIJNEN, H. J.; MOLENAAR, R.; VAN ROOVERT-REIJRINK, I. A. M.; VAN DER POL, C. W.; KEMP, B.; VAN DEN BRAND, H. Effects of incubation temperature pattern on broiler performance. *Poultry Science*, v. 99, n. 8, p. 3897-3907, 2020. DOI: 10.1016/j.psj.2020.05.010.