



GIULIA CORREA SASSI

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE
ESTRUTURAS DE SOMBREAMENTO PARA ÁREAS DE
PASTEJO DE GALINHAS POEDEIRAS**

Lavras – MG

2025

GIULIA CORREA SASSI

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE ESTRUTURAS DE
SOMBREAMENTO PARA ÁREAS DE PASTEJO DE GALINHAS POEDEIRAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração: Engenharia Agrícola, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Tadayuki Yanagi Junior

Orientador

Profa. Dr. Jaqueline de Oliveira Castro

Prof. Dr. Édison José Fassani

Prof. Dr. Renato Ribeiro de Lima

Prof. Dr. Alessandro Torres Campos

Coorientadores(as)

Lavras - MG

2025

**Ficha Catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração
de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com
dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Sassi, Giulia Correa.

Avaliação do desempenho térmico de estruturas de sombreamento para áreas de
pastejo de galinhas poedeiras / Giulia Correa Sassi. - 2025.

141 p. : il.

Orientador: Tadayuki Yanagi Junior

Coorientadora: Jaqueline de Oliveira Castro

Coorientador: Édisson José Fassani

Coorientador: Renato Ribeiro Lima

Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2025.

Bibliografia.

1. Bem-estar animal. 2. Conforto térmico. 3. Poedeiras. 4. Sistema free-range. 5.
Materiais de cobertura. I. Yanagi Junior, Tadayuki. II. Lima, Renato Ribeiro. III.
Castro, Jaqueline de Oliveira. IV. Fassani, Édisson José. V. Lima, Renato Ribeiro. VI.
Universidade Federal de Lavras. VII. Título.

GIULIA CORREA SASSI

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE ESTRUTURAS DE
SOMBREAMENTO PARA ÁREAS DE PASTEJO DE GALINHAS POEDEIRAS
EVALUATION OF THERMAL PERFORMANCE OF SHADE STRUCTURES FOR
LAYING HENS GRAZING AREAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Engenharia Agrícola, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 16 de JULHO de 2025

Profa. Dr. Patrícia Ferreira Ponciano Ferraz - UFLA

Profa. Dr. Verônica Gonzales Cadavid – UNAL

Profa. Dr. Jaqueline de Oliveira Castro – UFLA

Prof. Dr. Édison José Fassani - UFLA



Prof. Dr. Tadayuki Yanagi Junior

Orientador

Profa. Dr. Jaqueline de Oliveira Castro

Prof. Dr. Édison José Fassani

Prof. Dr. Renato Ribeiro de Lima

Prof. Dr. Alessandro Torres Campos

Coorientadores(as)

Lavras - MG

2025

AGRADECIMENTOS

Aos professores Tadayuki Yanagi Junior, Jaqueline de Oliveira Castro, Edison José Fassani, Renato Ribeiro de Lima e Alessandro Torres Campos pela orientação, apoio e confiança para tornar a realização desse trabalho possível. A professora Andreia, ao NEMATENC, ao professor Eduardo e ao laboratório de fitopatologia que possibilitaram que partes desse trabalho fosse desenvolvidos.

A todos os professores por me proporcionarem o conhecimento não apenas racional, mas a manifestação do caráter e afetividade da educação no processo de formação profissional, por tanto que se dedicaram a mim, não somente por terem me ensinado, mas por terem me feito aprender. A palavra mestre, nunca fará justiça aos professores dedicados aos quais sem nominar terão os meus eternos agradecimentos.

À instituição de ensino, Universidade Federal de Lavras, essencial no meu processo de formação profissional, pela dedicação, e por tudo o que aprendi ao longo dos anos do curso.

Aos meus pais, pelo amor, incentivo e apoio. Aos meus avós que agora me observam do céu.

Ao Moisés por seu amor, incentivo e apoio, além de me encorajar nos momentos que quis desistir ou parar.

A todos os meus amigos, particularmente ao João Flávio, Ilton e Maria Ariel, meus sinceros agradecimentos por ter entrado nesse trabalho comigo, por sua compreensão, palavras de encorajamento e força. Vocês desempenharam um papel significativo no meu crescimento e desenvolvimento deste trabalho.

Às pessoas com que convivi ao longo desses anos de curso, que me incentivaram e que certamente tiveram impacto na minha formação acadêmica.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

“A imaginação é mais importante do que o conhecimento, porque o conhecimento é limitado, ao passo que a imaginação abrange o mundo inteiro.”

Albert Einstein

RESUMO

O sistema de criação *free-range* tem ganhado destaque por proporcionar melhores condições de bem-estar às galinhas poedeiras, permitindo a expressão de comportamentos naturais. No entanto, a exposição direta às intempéries nos piquetes pode comprometer a saúde e a produtividade das aves, evidenciando a necessidade de estratégias eficazes de sombreamento. Objetivou-se com o presente estudo, avaliar o desempenho térmico de estruturas de sombreamento artificial em piquetes, construídas com diferentes materiais de cobertura, destinados à criação de poedeiras em sistema *free-range*. Inicialmente, foram realizadas revisões sistemática e bibliométrica para identificar lacunas de pesquisa, seguida da construção de protótipos utilizando diversos materiais de cobertura (telha de alumínio, tela de polietileno 70%, telha de fibrocimento ondulada de 6 mm, pintada de branco na superfície externa e com subcobertura construída com 4 camadas de material Tetra Pak[®], telha ecológica comercial; madeira roliça tratada, madeira roliça tratada com telhado verde, e bambus inteiros tratados). As estruturas foram avaliadas por meio da caracterização morfológica dos materiais de cobertura, utilizando Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), bem como por variáveis microclimáticas e índices de conforto térmico. As revisões sistemática e bibliométrica destacaram o protagonismo do Brasil nas pesquisas sobre materiais de cobertura, ressaltando a necessidade de estudar alternativas sustentáveis. As análises de MEV permitiram detalhar as características dos materiais e auxiliaram na explicação das respostas térmicas observadas. Os resultados indicaram que a tela de polietileno 70% apresentou o pior desempenho térmico, enquanto o telhado verde, a madeira roliça tratada e o fibrocimento pintado com subcobertura apresentaram menores limitações. Entre essas alternativas, as estruturas de sombreamento construídas com telhado verde, madeira roliça tratada e fibrocimento pintado com subcobertura foram eficazes para reduzir o desconforto térmico sob estruturas artificiais de sombreamento em piquetes de sistemas *free-range*, entretanto, nenhuma delas foi capaz de propiciar conforto térmico durante os períodos mais quentes do dia. Esses achados fornecem subsídios para a melhoria do microclima nos piquetes de sistemas alternativos para poedeiras, dando suporte para práticas de produção mais sustentáveis e eticamente responsáveis.

Palavras-chave: Bem-estar animal, conforto térmico, poedeiras, sistema *free-range*, sombreamento artificial, materiais de cobertura.

ABSTRACT

The free-range system has gained prominence for providing improved welfare conditions for laying hens, allowing the expression of natural behaviors. However, direct exposure to the environmental elements in paddocks can impair the health and productivity, highlighting the need for effective shading strategies. This study aimed to evaluate the thermal performance of artificial shading structures built with different roofing materials in paddocks for free-range laying hens' systems. A systematic and bibliometric reviews were first conducted to identify research gaps, followed by the construction of prototypes using different roof materials (aluminum roofing, 70% polyethylene mesh, 6 mm corrugated fiber-cement roofing painted white on the external surface and with four-layer Tetra Pak[®] roof insulation blanket, commercial ecological roofing, treated roundwood, treated roundwood with green roof, and treated whole bamboo). The structures were assessed through morphological characterization of the roofing materials using Scanning Electron Microscopy (SEM), alongside microclimatic variables and thermal comfort indices. The systematic and bibliometric reviews underscored Brazil's leading role in research on roofing materials, emphasizing the need for further research on sustainable materials. SEM analysis allowed detailed material characterization and helped explain the observed thermal responses. Results indicated that 70% polyethylene mesh exhibited the poorest thermal performance, whereas green roofs, treated roundwood, and painted fiber-cement with underlayment showed fewer limitations. Among these, shading structures with green roofs, treated roundwood, and painted fiber-cement with roof insulation blanket were the most effective for reducing thermal discomfort under artificial shading structures located in the free-range paddocks; nevertheless, no were sufficient to ensure thermal comfort during peak heat periods. These findings provide insights for enhancing paddock microclimates in alternative laying-hen systems, supporting the development of more sustainable and ethically responsible production practices.

Keywords: Animal welfare, thermal comfort, laying hens, free-range system, artificial shading, roofing materials.

INDICADORES DE IMPACTO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho térmico de diferentes estruturas de sombreamento artificial aplicadas a piquetes de sistemas free-range de galinhas poedeiras, visando a melhoria das condições de bem-estar animal e a promoção de práticas mais sustentáveis na produção avícola. A partir de revisões sistemática e bibliométrica, que contemplaram 121 publicações científicas de 1970 a 2024, identificou-se o protagonismo brasileiro nas pesquisas sobre materiais de cobertura e a necessidade de ampliar estudos envolvendo alternativas sustentáveis e adaptadas às condições climáticas locais. Em seguida, foram construídos e avaliados sete protótipos de sombreamento, com diferentes materiais de cobertura, caracterizados morfologicamente por meio de Microscopia Eletrônica de Varredura e avaliados quanto às variáveis microclimáticas e índices de conforto térmico. Os resultados demonstraram que o telhado verde, a madeira roliça tratada e o fibrocimento pintado com subcobertura apresentaram melhor desempenho em mitigar o desconforto térmico, enquanto a tela de polietileno de 70% mostrou-se ineficiente, destacando o potencial de soluções baseadas em materiais ecológicos e de baixo custo. Os impactos sociais e econômicos estão relacionados à possibilidade de transferência tecnológica aos produtores rurais, sobretudo familiares, que representam parcela significativa da avicultura alternativa no Brasil, com benefícios diretos para a saúde animal, produtividade e qualidade dos produtos oferecidos ao consumidor. Estima-se que a adoção de estratégias mais eficientes de sombreamento possa reduzir perdas produtivas em até 15% durante períodos críticos de calor, promovendo maior estabilidade econômica aos pequenos e médios produtores, além de atender às crescentes exigências de bem-estar animal dos mercados nacional e internacional. O caráter extensionista do estudo se evidencia pelo potencial de aplicação prática em territórios rurais e pela contribuição para a difusão de tecnologias sustentáveis junto a comunidades produtoras, especialmente nas regiões Sudeste e Centro-Oeste, onde sistemas free-range têm se expandido. No âmbito cultural, a pesquisa reforça a valorização de práticas de produção ética e responsável, fortalecendo a relação entre consumidor e produtor. O impacto tecnológico se concentra no desenvolvimento de soluções inovadoras de cobertura e no avanço metodológico para avaliação do conforto térmico em instalações agropecuárias. Este trabalho dialoga diretamente com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), em especial os ODS 2 (fome zero e agricultura sustentável), 12 (consumo e produção responsáveis), 13 (ação contra a mudança global do clima) e 15 (vida terrestre), ao promover alternativas que conciliam produção animal, preservação ambiental e bem-estar. Assim, os resultados obtidos têm impacto concreto sobre a produção avícola e em potencial sobre a formulação de políticas públicas voltadas à sustentabilidade e ao bem-estar em sistemas agropecuários alternativos.

IMPACT INDICATORS

This study aimed to evaluate the thermal performance of different artificial shading structures applied to free-range laying hen pens, aiming to improve animal welfare and promote more sustainable practices in poultry production. Based on systematic and bibliometric reviews of 121 scientific publications from 1970 to 2024, we identified Brazil's leading role in research on roofing materials and the need to expand studies involving sustainable alternatives adapted to local climate conditions. Subsequently, seven shading prototypes were constructed and evaluated, using different roofing materials. These prototypes were morphologically characterized using Scanning Electron Microscopy and evaluated for microclimatic variables and thermal comfort indices. The results showed that the green roof, treated roundwood, and painted fiber cement underlayment performed best in mitigating thermal discomfort, while the 70% polyethylene mesh proved ineffective, highlighting the potential of solutions based on environmentally friendly and low-cost materials. The social and economic impacts are related to the possibility of technology transfer to rural producers, especially family producers, who represent a significant portion of alternative poultry farming in Brazil, with direct benefits for animal health, productivity, and product quality offered to consumers. It is estimated that the adoption of more efficient shading strategies could reduce production losses by up to 15% during critical heat periods, promoting greater economic stability for small and medium-sized producers, in addition to meeting the growing animal welfare demands of the national and international markets. The extensionist nature of the study is evidenced by its potential for practical application in rural areas and its contribution to the dissemination of sustainable technologies among producer communities, especially in the Southeast and Central-West regions, where free-range systems have expanded. In the cultural sphere, the research reinforces the value of ethical and responsible production practices, strengthening the relationship between consumer and producer. The technological impact focuses on the development of innovative coverage solutions and methodological advancements for assessing thermal comfort in agricultural facilities. This work directly aligns with the Sustainable Development Goals (SDGs), particularly SDGs 2 (zero hunger and sustainable agriculture), 12 (responsible consumption and production), 13 (climate action), and 15 (life on land), by promoting alternatives that balance animal production, environmental preservation, and well-being. Thus, the results obtained have a concrete impact on poultry production and potentially on the formulation of public policies aimed at sustainability and well-being in alternative agricultural systems.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – REFERENCIAL TEÓRICO	14
1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS	15
2.1. Objetivo Geral.....	15
2.2. Objetivos Específicos.....	16
3. REVISÃO DE LITERATURA	16
3.1. Bem-estar animal	16
3.1.1. Avaliação do bem-estar animal	17
3.1.2. Identificação e caracterização dos principais problemas de bem-estar.....	18
3.1.3. Bem-estar de poedeiras	21
3.2. Influência das instalações no conforto térmico animal	23
3.2.1. Troca de energia térmica	23
3.2.2. Zona de conforto térmico.....	25
3.3. Variáveis termoambientais e índices de conforto térmico.....	26
3.3.1. Temperatura ambiente - bulbo seco.....	27
3.3.2. Umidade relativa (UR).....	27
3.3.3. Índice de temperatura e umidade (ITU)	28
3.3.4. Índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU)	28
3.3.5. Carga térmica de radiação (CTR).....	29
3.3.6. Velocidade do ar.....	29
3.3.7. Radiação térmica e solar	30
3.4. Sistemas de criação na avicultura de postura	30
3.4.1. Visão geral dos sistemas.....	30
3.4.2. Sistema <i>Free-Range</i>	32
3.4.3. Comportamento animal.....	33
3.4.4. Sistemas de criação na Avicultura de postura brasileira	34
3.5. Materiais de cobertura no sistema <i>free-range</i>	35
3.5.1. Diferentes materiais de cobertura.....	36
3.5.2. Importância do sombreamento no sistema <i>free-range</i>	38
3.5.3. Caracterização de materiais.....	39
3.5.4. Microscopia eletrônica de varredura (MEV)	40
3.6. Revisão sistemática	41

3.7. Revisão bibliométrica.....	42
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	43
REFERÊNCIAS	44
CAPÍTULO 2 – REVISÃO SISTEMÁTICA E BIBLIOMÉTRICA DE MATERIAIS DE COBERTURA EM INSTALAÇÕES AGROPECUÁRIAS: TENDÊNCIAS E IMPACTOS NO CONFORTO TÉRMICO ANIMAL	55
RESUMO	55
1. INTRODUÇÃO	56
2. MATERIAL E MÉTODOS	57
2.1. Revisão sistemática	57
2.2. Revisão bibliométrica.....	59
3. RESULTADO.....	60
3.1. Revisão sistemática	60
3.2. Revisão bibliométrica.....	60
4. DISCUSSÃO.....	83
4.1. Revisão sistemática	83
4.2. Revisão bibliométrica.....	84
5. CONCLUSÃO	96
REFERÊNCIAS	97
CAPÍTULO 3 – DESEMPENHO TÉRMICO DE ESTRUTURAS DE SOMBREAMENTO ARTIFICIAL INSTALADAS EM PIQUETES DE SISTEMA FREE-RANGE PARA CRIAÇÃO DE GALINHAS POEDEIRAS	105
RESUMO	105
1. INTRODUÇÃO	106
2. MATERIAL E MÉTODOS	107
2.1. Protótipos de estrutura de sombreamento	107
2.2. Instrumentação e medições	111
2.3. Determinação dos índices de avaliação do ambiente térmico e das efetividades ...	112
2.4. Delineamento experimental e análise estatística.....	113
2.5. MEV – Microscopia eletrônica de varredura	114
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	116
3.1. Caracterização morfológica das coberturas por MEV	116
3.2. Análises desconsiderando os efeitos das radiações solar e térmica	122
3.3. Análises considerando as radiações solar e térmica.....	125

4. CONCLUSÃO	134
REFERÊNCIAS	135
ANEXO 1 – TERMOS DE BUSCA REVISÃO SISTEMÁTICA	141

CAPÍTULO 1 – REFERENCIAL TEÓRICO

1. INTRODUÇÃO

A sociedade exerce influência determinante na aplicação das normas de bem-estar animal nos sistemas de produção, com ênfase significativa na preservação do meio ambiente (MOLENTO, 2005). Por essa razão, os sistemas de criação ao ar livre destacam-se como uma opção cada vez mais reconhecida por propiciar aos animais liberdade para expressar seus comportamentos naturais (HFAC, 2018; BESTMAN & WAGENAAR, 2014).

Neste contexto, o sistema *free-range* proporciona melhores condições de bem-estar às aves (HFAC, 2018), uma vez que essas são criadas soltas no interior de um galpão e devem ter acesso diário ao ambiente externo (piquete), por pelo menos seis horas durante o dia, sempre que o clima permitir. Desta forma, as aves têm a possibilidade de vivenciar a liberdade comportamental. Neste sistema, a instalação serve de abrigo para que as aves se protejam das adversidades climáticas e tenham um espaço seguro para dormir sem serem ameaçadas por predadores (DE OLIVEIRA, 2019).

No sistema *free-range* as aves podem expressar comportamentos naturais, como bater as asas, ciscar, empoleirar, se esticar e tomar banho de areia, entre outros (HFAC, 2018; BOLELI, 2016; BESTMAN & WAGENAAR, 2014), comportamentos que não são observados no sistema em gaiolas. Entretanto, as variáveis meteorológicas afetam diretamente a utilização deste sistema, principalmente quando as aves acessam os piquetes, uma vez que as condições térmicas geralmente são desfavoráveis, em algumas horas do dia. Ademais, as aves ficam sujeitas a predadores ao acessarem o ambiente externo, o que pode causar a sensação de medo (DE OLIVEIRA, 2019).

Desta forma, a implantação de estruturas de sombreamento artificial nos piquetes pode mitigar os efeitos deletérios do ambiente térmico externo, bem como do medo de predadores (DE OLIVEIRA, 2019). Assim, os desenvolvimentos de pesquisas que avaliam e comparam estruturas de sombreamento artificial construídas com diferentes materiais de cobertura podem incrementar as opções de oferta de conforto às aves, melhorando o bem-estar e desempenho produtivo.

Mapear e avaliar os conhecimentos existentes e as lacunas relacionadas às questões específicas propicia o desenvolvimento da base de conhecimentos. Neste contexto, a revisão sistemática da literatura (RLS) pode ser aplicada (MENGIST et al., 2020). A RLS permite que vários trabalhos que discutem o mesmo tema sejam selecionados de forma conjunta e levam a informações mais conclusivas. Aliada à revisão sistemática, a revisão bibliométrica é uma metodologia que permite contrapor e analisar as relações entre estudos, permitindo ter-se melhor visualização do cenário em que esses se encontram (RODRIGUES & ZIEGELMANN, 2010).

Tendo em vista que os sistemas de produção de galinhas poedeiras vêm sendo desafiados a obter alta produtividade e adequação aos padrões cada vez mais rígidos de bem-estar animal, a adoção de sistemas não convencionais, como o *free-range*, tem se destacado. Este sistema oferta às aves melhores condições de expressar os seus comportamentos naturais, um dos requisitos para que o bem-estar seja alcançado.

Entretanto, outros desafios têm surgido ou intensificado, como aqueles relacionados ao ambiente térmico, produtividade e sanidade. Neste sistema, os animais ao acessarem o ambiente externo, por meio dos piquetes, necessitam de estruturas de sombreamento para mitigar os efeitos deletérios do ambiente térmico externo, além de prover sensação de proteção contra possíveis predadores, reduzindo a sensação de medo.

Assim, os estudos relacionados às estruturas de sombreamento para aves e o desempenho das variáveis térmicas são imperativos para o desenvolvimento da avicultura de postura moderna.

A implantação de diferentes estruturas de sombreamento artificial em piquetes de sistemas *free-range* para criação de galinhas poedeiras proporciona níveis diferenciados de conforto térmico às aves, visando proteger contra o calor excessivo, reduzir o estresse térmico, prevenir as aves de queimaduras solares, evitar superaquecimento, estimular o comportamento natural, propiciar manutenção da produção e proteção contra intempéries.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Avaliar o desempenho térmico de estruturas de sombreamento artificial em piquetes, construídas com diferentes materiais de cobertura, aplicadas ao sistema de criação *free-range*.

2.2. Objetivos Específicos

- Proceder às revisões de literatura sistemática e bibliométrica do efeito da aplicação de diferentes materiais de cobertura sobre o ambiente térmico de instalações para a produção animal.

- Mensurar e comparar os desempenhos térmicos de diferentes estruturas de sombreamento artificial usadas em piquetes de sistema de criação *free-range*.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Bem-estar animal

A ciência do bem-estar animal, área de conhecimento interdisciplinar, se destina ao estudo, identificação e reconhecimento das necessidades fundamentais dos animais, com o objetivo de medir e aplicar essas necessidades de forma prática (KEELING et al., 2011). Esse campo engloba as necessidades físicas, fisiológicas, psicológicas, comportamentais, sociais e ambientais. Consequentemente, pesquisas desenvolvidas para o estudo do bem-estar animal podem ser utilizadas para avaliar e aprimorar a qualidade de vida de indivíduos ou grupos pertencentes a diversas espécies e em diversas situações, contribuindo para o desenvolvimento de normas e protocolos que promovam práticas mais adequadas no tratamento dos animais.

O bem-estar animal pode ser definido como o estado físico e psicológico de um indivíduo em relação às suas tentativas de se adaptar ao ambiente em que vive (BROOM & JOHNSON, 2000). Por outro lado, Mellor et al. (2009) definem o bem-estar animal como um estado que reflete as experiências emocionais ou afetivas do animal em um dado momento, influenciado por fatores internos e externos aos quais ele está sujeito. Ressalta-se que não existe um consenso uniforme entre os autores sobre a definição do bem-estar animal. A maioria das definições abrange os conceitos de bem-estar físico, mental e natural, uma vez que o bem-estar também está relacionado à qualidade de vida do animal. Dessa forma, as definições já abrangiam uma ampla gama de elementos, como saúde, felicidade, harmonia com o ambiente e capacidade de adaptação sem sofrimento. Essa complexidade, portanto, já representava um desafio significativo para a ciência no que diz respeito à sua compreensão (CALDERÓN & GARCIA, 2015; DUNCAN, 2005).

O bem-estar físico de um animal está intrinsecamente ligado à sua condição corporal, refletindo seu funcionamento biológico. Assim, pode-se afirmar que é uma medida que compreende não apenas as doenças e o estado nutricional do animal, mas também os cuidados

que lhe são proporcionados. Ademais, o bem-estar físico está diretamente relacionado ao nível de conforto experimentado pelo animal. A exposição constante ao estresse crônico decorrente de ambientes inadequados, caracterizados por limitações de espaço e falta de estímulos sensoriais apropriados, pode impactar negativamente a saúde, comportamento e qualidade de vida do animal (MCMILLAN, 2005).

De acordo com a Organização Mundial da Saúde Animal (OIE), esse termo engloba a maneira como os indivíduos enfrentam o ambiente que os cerca, incluindo sua saúde, percepções emocionais e outros impactos positivos ou negativos que afetam tanto os aspectos físicos como psicológicos do animal (OIE, 2010a)

3.1.1. Avaliação do bem-estar animal

Vários fatores relacionados ao ser humano, ao ambiente e aos animais são fundamentais na avaliação do bem-estar animal. A atitude, vocação, conhecimento, capacitação e experiência dos tratadores influenciam significativamente o cuidado e o manejo dos animais. A capacidade dos tratadores de reconhecer indicadores físicos e comportamentais que afetam o bem-estar dos animais é primordial para resguardar sua qualidade de vida (APPLEBY et al., 2011).

A saúde é crucial na determinação do bem-estar de um animal, mas um animal saudável pode não ter muito bem-estar, como exemplificado por camundongos em ambientes carentes de enriquecimento (COCKRAM & HUGHES, 2011). Animais em condições inadequadas podem apresentar comportamentos anormais, como estereotípias, devido à falta de oportunidades para expressar comportamentos naturais, com interações sociais.

Identificar fatores ambientais que geram estresse ou inibem comportamentos naturais é vital. Barreiras físicas, isolamento e superlotação podem prejudicar o bem-estar, especialmente em animais confinados por longos períodos. A arquitetura das instalações e as condições microclimáticas, tanto internas quanto externas, impactam significativamente o bem-estar animal.

Fatores com espécie, raça, sexo e idade também são críticos na avaliação do bem-estar, devido às variações em comportamento e necessidades. As “Cinco Liberdades” propostas pelo *Farm Animal Welfare Council* (FAWC, 2009) representaram um marco conceitual na evolução do bem-estar animal. Elas foram formuladas como diretrizes práticas para assegurar que os animais estejam livres de fome e sede; desconforto; dor, lesão e doença; medo e estresse; e que possam expressar comportamentos naturais da espécie. Esse modelo foca na prevenção de

estados negativos, sendo amplamente utilizado como base para políticas públicas, certificações e protocolos de avaliação de bem-estar em diversos países, inclusive no Brasil (FRASER, 2008).

Protocolos baseados nesse modelo propõem condições mínimas como o fornecimento de ambiente adequado, acesso contínuo a água limpa, dieta balanceada, espaço suficiente para movimentação e interações sociais apropriadas com animais da mesma espécie (FAWC, 2009; SANTOS et al., 2021). Indicadores físicos objetivos como frequência respiratória e cardíaca, temperatura corporal, condição corporal e pressão arterial são comumente utilizados para mensurar o estado fisiológico das aves (ROSSI et al., 2020).

No entanto, o conceito das “Cinco Liberdades” vem sendo complementado e, em parte, substituído por abordagens mais abrangentes como o modelo dos “Cinco Domínios” (MELLOR et al., 2020) e os conceitos de “Qualidade de Vida (QoL)”. O modelo dos “Cinco Domínios” considera dimensões nutricional, ambiental, sanitária e comportamental, integradas à dimensão mental, buscando avaliar não apenas o alívio de sofrimentos, mas também a presença de experiências positivas. Por sua vez, os modelos baseados em QoL têm como foco o bem-estar subjetivo do animal, considerando que o bem-estar não é meramente a ausência de sofrimento, mas também a capacidade de experienciar conforto, prazer e contentamento (YEATES & MAIN, 2009).

Essas abordagens mais recentes contribuem para uma avaliação mais holística do bem-estar animal, sendo particularmente relevantes para sistemas alternativos de criação, como o *free-range*, nos quais a variedade de estímulos ambientais e comportamentais disponíveis torna o uso de modelos modernos mais adequado. Incorporar esses conceitos ao planejamento e à análise dos sistemas produtivos enriquece a base teórica e fortalece a fundamentação ética e científica da produção animal contemporânea.

Os indicadores comportamentais são obtidos por meio de observações e inventários, além de testes psicológicos que avaliam a motivação e diagnosticam anomalias comportamentais, incluindo condutas estereotipadas (FRASER, 2009; MASON & RUSHEN, 2008).

3.1.2. Identificação e caracterização dos principais problemas de bem-estar

Os indicadores que permitem detectar alterações no nível de bem-estar dos animais, tanto individualmente quanto em grupo, podem ser categorizados em três áreas: físicas, mentais

e comportamentais. No aspecto físico, doenças podem ser identificadas por meio de inspeções individuais ou coletivas e exames complementares. Quaisquer alterações que afetem os sistemas fisiológicos e impactem a reprodução e a sobrevivência do animal terá efeito negativo no seu bem-estar. Deve-se ressaltar que, condições orgânicas, especialmente aquelas acompanhadas de dor, influenciam os aspectos psicológicos e comportamentais do animal (VIÑUELA-FERNÁNDEZ et al., 2011).

A avaliação da intensidade da dor experimentada pelos animais ainda é desafiadora. A dor é uma preocupação fundamental e pode ser resultado de situações como alojamento inadequado, procedimentos cirúrgicos ou experimentos de pesquisa. O reconhecimento de dor pode ser difícil, portanto, é crucial utilizar instrumentos de medição unidimensionais e universais, que avaliem exclusivamente a intensidade da dor e sejam compreensíveis em qualquer cultura. O conhecimento da biologia e do etograma de cada espécie, além do treinamento da equipe para utilizar respostas fisiológicas e comportamentais como indicadores de dor, são essenciais (VIÑUELA-FERNÁNDEZ et al., 2011).

No âmbito mental, é fundamental que o médico veterinário e a equipe de pesquisa desenvolvam habilidades para reconhecer e interpretar os estados emocionais e motivacionais dos animais (ITEC, 2008). No que diz respeito ao comportamento, muitos sinais clínicos estão ligados aos estados emocionais, como medo e ansiedade, e podem indicar distúrbios comportamentais. Os parâmetros de avaliação do bem-estar incluem a demonstração de comportamentos normais, a expressão de comportamentos preferidos, indicadores fisiológicos de satisfação, expectativa de vida reduzida, crescimento ou reprodução diminuídos, lesões, doenças, imunossupressão, esforços para se adaptar e problemas comportamentais (BROOM & MOLENTO, 2004).

As práticas adequadas de bem-estar animal envolvem prevenção e tratamento de doenças, além da mitigação da dor e angústia. Isso inclui alimentação e condições de vida alinhadas às necessidades dos animais. A avaliação científica do bem-estar é crucial para promover boas práticas, abrangendo fatores e critérios, sendo mais eficazes em sistemas que identificam as raízes dos problemas e oportunidades para intervenções. É essencial que a avaliação envolva a participação ativa das pessoas, incorporando suas perspectivas e experiências, bem como os recursos que podem contribuir para resolver questões de bem-estar animal (FAO, 2008).

A capacidade dos animais de expressar comportamentos naturais é importante, mas muitas vezes a prioridade deve ser corrigir o sofrimento causado pela negligência ou manejo inadequado (GRANDIN, 2010).

Grandin (2010) propõe que a avaliação do bem-estar animal seja prática e vise a identificação e correção eficiente dos problemas, categorizando-os em quatro grupos distintos:

1. Problemas graves que resultam em sofrimento evidente.
2. Procedimentos de rotina que causam dor.
3. Estresse durante manejo e transporte.
4. Alta densidade de criação de animais.

Problemas graves devem ser corrigidos imediatamente, e a capacitação da equipe é fundamental para reduzir o estresse durante as operações.

Fraser (2008) apresenta quatro princípios essenciais para avaliação do bem-estar animal:

1. Manutenção da saúde básica: alimentação, água, vacinação e abrigo para prevenir doenças.
2. Redução da dor e do estresse: prevenção de lesões e manejo que não cause medo ou dor.
3. Desenvolvimento do comportamento natural: proporcionar espaço para comportamentos naturais.
4. Elementos naturais no ambiente: acesso à luz solar e outros elementos naturais.

Mellor et al. (2009) caracterizam o bem-estar animal em cinco áreas, chamadas “cinco domínios”, para avaliar o impacto dos procedimentos sobre os animais:

1. Nutrição.
2. Ambiente.
3. Saúde.
4. Comportamento.
5. Estado mental: sentimentos e emoções.

A União Europeia estabeleceu o *Welfare Quality Project* em 2004, identificando quatro princípios fundamentais para a avaliação do bem-estar de

animais de produção, com doze critérios independentes que refletem o essencial para o bem-estar dos animais:

1. Boa nutrição: alimentação adequada e acesso à água.
2. Bom alojamento: alojamento apropriado.
3. Boa saúde: condições de saúde adequadas.
4. Comportamento apropriado: comportamentos que refletem um estado emocional positivo.

Na avaliação do grau de bem-estar dos animais, é essencial considerar as experiências vivenciadas pelos próprios animais. Green & Mellor (2011) afirmaram que, embora as abordagens iniciais tenham enfatizado principalmente as experiências subjetivas negativas, já se reconhecia na época a importância de incluir também as experiências positivas, como saciedade e contentamento. Essa abordagem contribuiu para uma compreensão mais abrangente e multifatorial do bem-estar, orientada à promoção de uma qualidade de vida com predominância de estados positivos. De modo geral, a discussão sobre bem-estar animal envolve aspectos éticos e morais, com foco na preservação do bem-estar e na confiabilidade dos resultados de pesquisas desenvolvidas (OIE, 2010b).

3.1.3. Bem-estar de poedeiras

De forma geral, o bem-estar animal se refere ao estado comportamental e físico dos animais ao longo de suas vidas, inclusive durante o processo de abate. A Organização Mundial de Saúde Animal (OIE) define que um animal desfruta de verdadeiro bem-estar quando está bem alimentado, saudável, seguro, confortável, livre de estados desagradáveis, como medo, angústia e dor, expressando seu comportamento natural de acordo com seu estado físico e mental. Isso compreende o adequado provimento de cuidados veterinários, de prevenção de doenças, de manejo, de nutrição, de alojamento, além do abate humanitário (IRFAW, 2018).

Para compreender adequadamente o bem-estar animal, é essencial ter um conhecimento profundo da biologia do animal, pois muitos indicadores sutis de bem-estar podem ser identificados por meio de medidas fisiológicas. A avaliação do bem-estar muitas vezes envolve observar como os animais reagem a objetos ou às condições de suas instalações. Também é crucial considerar as diferenças individuais entre os animais, uma vez que o bem-estar é uma experiência pessoal e intrínseca de cada um, não podendo ser completamente controlado pelos seres humanos (BROOM & MOLENTI, 2004).

Na União Europeia, regulamentações foram implementadas para proteger as aves poedeiras em diversos sistemas e evitar discrepâncias na competição entre produtores. A Diretiva 1999/74/CE do Conselho, datada de 19 de julho de 1999, estabeleceu padrões para a proteção das aves poedeiras e, a partir de 1 de janeiro de 2012, proibiu a criação de galinhas em gaiolas desprovidas de enriquecimento ambiental (UEC, 1999).

Cada produtor do programa deve estabelecer contato com um especialista qualificado, como um veterinário, que deve ter as seguintes qualificações, conforme Schachner, Grafl & Hess (2021):

1. Métodos para otimizar a saúde e o bem-estar das aves.
2. Condições específicas das aves na propriedade.
3. Requisitos de saúde do estado.

Um plano de saúde que priorize a prevenção de doenças e lesões deve ser desenvolvido em colaboração com esse consultor especializado, visando promover a saúde e minimizar a necessidade de tratamento. Este plano deve abordar tópicos como:

1. Questões de mobilidade.
2. Considerações climáticas.
3. Medidas para prevenir a entrada de predadores e controle de roedores.
4. Procedimentos de eutanásia.
5. Gestão das áreas de distribuição e forrageamento.
6. Considerações ambientais, como manejo de esterco e controle de escoamento.
7. Práticas de biossegurança.
8. Nutrição adequada.
9. Prevenção de estresse físico, nutricional e ambiental.
10. Uso de vacinas e estratégias para lidar com doenças prevalentes.

Conforme observado por Okocha, Olatoye & Adedeji (2018), em situações de doenças conhecidas ou riscos identificados na fazenda, o uso de vacinas é fundamental. O emprego de vacinas desempenha um papel crucial na eliminação ou redução de suscetibilidade às doenças, diminuindo, assim, a necessidade de antibióticos em níveis terapêuticos. É essencial incentivar o uso adequado de vacinas, seja em nível individual ou coletivo, para prevenir o surgimento de enfermidades. Além disso, é importante abordar as causas subjacentes de claudicação.

3.2. Influência das instalações no conforto térmico animal

O ambiente que envolve os animais é composto por diversas variáveis que influenciam direta ou indiretamente seu bem-estar e desempenho produtivo. Dentre essas variáveis, o ambiente térmico se destaca, sendo composto por elementos como temperatura, umidade, radiação e ventilação. A produção animal moderna conta com material genético de alto potencial e tecnologias avançadas para uma gestão eficiente da nutrição. No entanto, esse alto nível de produtividade também torna os animais mais sensíveis às condições climáticas (FERREIRA, 2005).

As aves são animais homeotérmicos, ou seja, mantêm a temperatura corporal dentro de limites estreitos, apesar das variações ambientais. Esse processo ocorre por meio da troca de energia com o meio externo, funcionando como um sistema termodinâmico que requer ajustes fisiológicos constantes para manter o equilíbrio térmico (FERREIRA, 2005; BAÊTA & SOUZA, 1997). Variações na temperatura corporal podem ocorrer devido fatores como idade, sexo, estação do ano, horário do dia, alimentação e nível de atividade (FERREIRA, 2005; HANNAS, 1999).

Dentre as variáveis ambientais, a radiação solar é um dos principais agentes de estresse térmico em instalações avícolas, especialmente no verão, contribuindo significativamente para o aumento da temperatura interna das edificações (RIVERO, 1986; CURTIS, 1983). Assim, a escolha adequada do material de cobertura é, portanto, fundamental para reduzir esse impacto e garantir condições ambientais mais adequadas às aves (PADILHA et al., 2001).

3.2.1. Troca de energia térmica

Os animais trocam energia térmica com o meio ambiente de duas formas principais: calor sensível e calor latente. O calor sensível envolve os mecanismos de condução, convecção e radiação, enquanto o calor latente ocorre por meio da evaporação cutânea e respiratória. A transferência de calor sensível depende do gradiente da temperatura entre o animal e o ambiente, assim como da velocidade de movimentação e da umidade relativa do ar. Por outro lado, a perda de calor latente é influenciada diretamente pela umidade relativa do ar (BRIDI, 2006).

Em condições normais de conforto, até 80% das trocas térmicas ocorrem por meio sensível, enquanto em situação de estresse térmico, as trocas latentes podem representar até

84% da dissipação de calor (BARBOSA FILHO, 2005). Para compreender melhor esses processos, é necessário analisar os mecanismos individuais de troca de calor.

A radiação térmica é a transferência de energia entre corpos, com diferentes temperaturas superficiais, através de ondas eletromagnéticas (SILVA, 2000). Assim, o processo de perda de calor por radiação ocorre sempre que a temperatura superficial do animal for superior à temperatura dos objetos circunvizinhos. A perda de calor por radiação é influenciada pela temperatura e pela natureza da superfície do corpo animal (TEIXEIRA, 2004).

A condução é a transferência de calor entre dois corpos em contato direto, mediada pela energia cinética das moléculas ou pela movimentação de elétrons livres em materiais condutores, como os metais (SILVA, 2000). No entanto, devido à baixa condutividade térmica do ar, a perda de calor dos animais para o ambiente por esses mecanismos é pouco significativa (TEIXEIRA, 2004). Segundo Hardy (1981), a condução é o meio menos eficiente de dissipar calor, pois requer contato direto com uma superfície de temperatura inferior.

A convecção ocorre pela transferência de calor por meio de fluidos, como o ar ou a água. A convecção natural acontece quando o ar aquecido pelo corpo do animal sobe e é substituído por ar mais frio. Por sua vez, a convecção forçada depende da movimentação do ar devido a ação do vento ou de ventiladores ou exaustores. Quanto maior a velocidade do vento e a diferença de temperatura entre o ar e a superfície do animal, maior será a perda de calor (TEIXEIRA, 2004). Se o ar estiver mais quente que o corpo do animal, o processo ocorre no sentido inverso, resultando em aquecimento (FERREIRA, 2005).

Nos climas quentes, a evaporação é o principal mecanismo de perda de calor. Esse processo ocorre na superfície corporal e no sistema respiratório. O ar inspirado entra em contato com a umidade das vias respiratórias e alvéolos pulmonares, sendo expelido quase saturado de vapor d'água, o que promove a perda de calor (MEDEIROS & VIEIRA, 1997). Como as aves não possuem glândulas sudoríparas, sua principal forma de perda de calor ocorre pela evaporação por meio da respiração (MACARI et al., 2004).

A eficiência da perda de calor por evaporação é reduzida quando a umidade relativa do ar é elevada, pois a pressão de vapor de água no ambiente se aproxima daquela observada no organismo, dificultando a troca (BAÊTA & SOUZA, 2010).

Sob temperaturas acima do ideal, os animais ativam mecanismos de dissipação de calor e reduzem a produção interna de calor. As aves, por exemplo, ajustam sua posição corporal para

maximizar a superfície exposta ao ar, afastam as asas do corpo e eriçam as penas para facilitar a ventilação. Também aumentam a frequência respiratória para intensificar a perda de calor por evaporação (MENEGALI et al., 2009).

As variáveis ambientais, especialmente as térmicas, afetam diretamente as aves, comprometendo sua capacidade de manter a homeotermia. O microclima nas instalações influencia todas as fases de produção, podendo reduzir a produtividade e causar prejuízos econômicos significativos na exploração avícola (MENEGALI et al., 2009; HANNAS, 1999). Dessa forma, a gestão eficiente do conforto térmico é essencial para otimizar o bem-estar e a rentabilidade da produção avícola.

3.2.2. Zona de conforto térmico

As variações normais de temperatura corporal de um animal homeotérmico, evidenciam a faixa de temperatura ambiente conhecida como zona de termoneutralidade. Dentro dessa faixa, a taxa metabólica do animal é minimizada, permitindo a manutenção da homeotermia com gasto energético reduzido. A zona de conforto térmico, ou zona termoneutra, é crucial para que os animais expressem seu máximo potencial genético, com a fração de energia metabolizável utilizada para termogênese sendo mínima (LE DIVIDICH et al., 1998; CURTIS, 1983; FUQUAY, 1981).

Essa zona pode variar de acordo com características intrínsecas das aves, como isolamento térmico e mecanismos de controle da vasomotricidade, além de fatores externos como a composição da dieta, ventilação do ambiente e características físicas das instalações (LE DIVIDICH et al., 1998). Para aves em fase de produção, a zona termoneutra geralmente varia entre 20 e 24 °C (YANAGI et al., 2011; FERREIRA, 2005; CHEPETE & XIN, 2000).

Em condições de baixa temperatura, os animais adotam ajustes comportamentais para conservar calor, como buscar locais ensolarados, abrigar-se do vento e agrupar-se. Esses comportamentos visam maximizar o isolamento térmico, enquanto a vasoconstrição periférica e a piloerção ajudam na conservação do calor. A temperatura ambiente efetiva é representada pela temperatura crítica inferior (TCI), e quando a temperatura reduz abaixo desse ponto, os animais ativam seus mecanismos termorregulatórios para aumentar a produção e retenção de calor corporal.

A alimentação também influencia a TCI, pois um nível adequado de alimentação pode reduzir a temperatura associado a esse ponto crítico. Dentro da faixa de temperatura ambiente

efetiva, os animais implementam processos termogênicos, inicialmente por meio de tremores musculares, que são substituídos por termogênese sem tremores, regulado pelo sistema neuro-hormonal. Quando a temperatura ambiente fica abaixo da TCI, isso pode afetar o desempenho produtivo e a conversão alimentar dos animais (TINÔCO, 2001; TURNPENNY et al., 2000).

No extremo inferior, encontramos a temperatura crítica inferior absoluta, onde a taxa metabólica atinge o máximo. Se a temperatura continuar a decrescer, o animal entra na zona de frio intolerável, região na qual a taxa metabólica fica ligeiramente acima do máximo, podendo levar à diminuição da temperatura corporal e, eventualmente, à morte. A duração do estresse de frio pode afetar a zona de conforto do animal, estresses agudos aumentam a produção de calor, enquanto estresses crônicos levam a adaptações no isolamento térmico (DONALD, 1998).

Em situações de calor, os animais precisam adotar ajustes comportamentais para dissipar o excesso de calor corporal, como buscar sombra e áreas úmidas, e expor-se ao vento. Eles podem reduzir a camada de gordura subcutânea e a cobertura de pelos, além de aumentar a frequência respiratória e recorrer à ofegação para dissipar calor. A temperatura crítica superior (TCS) representa a faixa acima da qual os animais ativam mecanismos termorregulatórios para reduzir a produção de calor. Quando a temperatura ultrapassa a TCS, a temperatura corporal tende a aumentar, levando a situações de estresse térmico agudo ou crônico, que podem resultar em hipertermia e até morte (WILLMER; STONE & JOHNSTON, 2000).

Nas aves de postura, condições inadequadas de conforto térmico, especialmente em altas temperaturas, podem levar à diminuição da qualidade das cascas dos ovos, resultando em ovos com casca fina e aumento das perdas devido a trincas. Esse problema é associado à hiperventilação durante a respiração, levando à perda excessiva de dióxido de carbono, essencial para a formação do carbonato de cálcio, um componente fundamental da casca dos ovos (ALVES, 2007; JÁCOME et al., 2007). O desconforto térmico pode ainda causar redução no tamanho e na quantidade total de ovos produzidos, no peso da gema e na quantidade de clara, entre outras anormalidades reprodutivas (SILVA, 2000).

3.3. Variáveis termoambientais e índices de conforto térmico

Diversos índices de conforto térmico foram desenvolvidos para avaliar as condições ambientais e prever o *status* de conforto ou desconforto térmico dos animais. Dentre os diversos índices propostos, os mais usados são aqueles baseados em quatro variáveis principais: temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do ar e radiação do ambiente (CAMPOS, 1986).

3.3.1. Temperatura ambiente - bulbo seco

A sensação do conforto térmico dos animais está diretamente relacionada à perda de calor para o ambiente devido à diferença de temperatura entre o corpo do animal e o meio externo. Além disso, os mecanismos termorreguladores influenciam esse processo, tornando a temperatura do ar um dos elementos meteorológicos mais relevantes na determinação do conforto térmico dos animais (FONSECA, 2010).

Segundo Jentsch (2002), a temperatura do ar é amplamente utilizada como indicador das condições térmicas, pois é de fácil mensuração e aplicação ambiental. Além disso, auxilia na caracterização do clima regional, por meio da análise das médias ao longo do tempo. De acordo com Tinôco (2001) e Ferreira (2005), a faixa de conforto térmico para aves situa-se entre 22 e 27 °C.

3.3.2. Umidade relativa (UR)

A umidade relativa do ar está fortemente correlacionada com a temperatura ambiente, e ambas influenciam a dissipação de calor por evaporação (BAÊTA & SOUZA, 1997). O ar pode conter determinada quantidade de vapor d'água, que aumenta conforme a temperatura do ambiente se eleva. Quando a umidade atinge seu nível máximo para uma determinada temperatura, diz-se que o ar está saturado (SILVA, 2000).

Em condições de ar seco, a perda de calor por evaporação é eficiente. No entanto, quando a umidade relativa e a temperatura são elevadas, os animais enfrentam dificuldades em dissipar calor de maneira eficaz, o que compromete seu bem-estar (TEIXEIRA, 2004). Estudos de Rojimin e Lokhorst (1966), indicam que a perda de calor evaporativa das aves diminui de 80% para 39% quando a umidade relativa sobe de 40% para 90% a uma temperatura ambiente de 34 °C.

Tinôco (2001) e Medeiros et al. (2005) apontam que a faixa ideal de umidade relativa para aves situa-se entre 50% e 70%. Em pesquisa realizada por Oliveira et al. (2006), avaliando os efeitos da temperatura e da umidade relativa em frangos de corte, foi constatado que um aumento na umidade de 40% para 75%, em temperatura ambiente de 32 °C, resultou em redução no consumo de ração e no ganho de peso das aves.

3.3.3. Índice de temperatura e umidade (ITU)

Desenvolvido por Thom (1959), o Índice de Temperatura e Umidade (ITU) é amplamente utilizado para quantificar e classificar o *status* de conforto térmico dos animais, pois combina os efeitos da temperatura e da umidade relativa do ar em um único valor.

No entanto, segundo Buffington et al. (1981), o ITU apresenta limitações em ambientes com alta radiação solar ou forte ventilação, pois não considera a carga térmica radiante que incide sobre os animais. Dessa forma, sua capacidade de prever com precisão o desconforto térmico pode ser prejudicado.

Para aves poedeiras, a classificação do ITU difere daquela proposta originalmente para bovinos, considerando as particularidades fisiológicas dessa espécie. De acordo com Barbosa Filho (2004), valores entre 71 e 75 indicam conforto térmico, entre 76 e 81 representam perigo, e valores acima de 81 configuram estado de emergência. Esses limites são amplamente utilizados na avicultura de postura para monitoramento ambiental e tomada de decisões relacionadas ao manejo térmico dos plantéis (MEDEIROS et al., 2005).

3.3.4. Índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU)

O ITGU é considerado um dos índices mais precisos para avaliar o conforto térmico em regiões tropicais (BUFFINGTON et al., 1981). O ITGU incorpora os efeitos da temperatura do ar, a umidade relativa do ar, da velocidade do ar e da radiação em um único valor, substituindo a temperatura de bulbo seco pela temperatura do globo negro na equação de Thom (1959).

Oliveira e Esmay (1981) demonstraram que o termômetro de globo negro pode ser utilizado como indicador do conforto térmico de animais em climas quentes. A diferença entre a temperatura do globo negro e do ar reflete a influência da radiação e da ventilação sobre o animal.

O termômetro de globo negro padrão consiste em uma esfera de cobre de 0,15 m de diâmetro, com parede de 0,5 mm de espessura, pintada com tinta preta fosca. Em seu centro, é posicionado um sensor de temperatura (JENTZSCH, 2002). Camerini et al. (2011) avaliaram termômetros de globo negro alternativos, feitos de PVC, e concluíram que apresentam precisão satisfatória, sendo uma opção econômica para pesquisas agrometeorológicas.

Piasentin (1984) verificou que, em frangos de corte de 28 a 49 dias de idade variações de ITGU entre 65 e 77 não influenciaram seu desempenho. Furtado et al. (2003) também

observaram que valores do ITGU entre 65 e 77 não afetaram o crescimento de frangos no agreste paraibano, caracterizando essas condições como adequadas para a produção.

3.3.5. Carga térmica de radiação (CTR)

A carga térmica radiante (CTR) é determinada a partir da equação de Stefan-Boltzmann, conforme descrita por Esmay (1979), e expressa a radiação total recebida por um corpo proveniente do ambiente. Diferentemente da troca líquida de radiação, a CTR considera apenas a radiação incidente sobre o animal (BOND & KELLY, 1955).

Diversos estudos destacaram a importância de reduzir a CTR nas instalações agropecuárias, por meio do uso de materiais de cobertura que reflitam a radiação solar incidente e minimizem a absorção térmica no interior das edificações (ABREU et al., 2001a). A proteção contra a insolação direta pode ser alcançada com o uso de coberturas altamente refletivas, isolantes térmicos e materiais com elevada inércia térmica (COSTA, 1982). Furtado et al. (2006) relatam que o uso de determinadas coberturas pode reduzir de 20 a 40% da CTR incidente sobre os animais, em comparação a ambientes desprotegidos. Reduções superiores a 50% foram observadas por Baêta e Souza (2010) e Oliveira et al. (2021), especialmente com o uso de materiais refletivos ou sombreamento natural por meio de vegetação. Além disso, outros estudos demonstraram que o uso de coberturas com isolamento térmico eficiente, como telhas com tinta refletiva ou estruturas com dupla camada, pode resultar em reduções superiores a 60% da CTR (FONSECA et al., 2011; FIORELLI et al., 2009; CARDOSO et al., 2011).

3.3.6. Velocidade do ar

A velocidade do ar é uma variável termoambiental fundamental na regulação térmica dos animais, influenciando diretamente a troca de calor por convecção. Em ambientes quentes, o aumento da ventilação pode favorecer a dissipação de calor corporal, promovendo alívio térmico (BAÊTA & SOUZA, 1997). No entanto, sua efetividade depende das condições ambientais e da densidade dos animais.

Segundo Tinôco (2001), a ventilação adequada em instalações avícolas contribui para a homogeneidade do ambiente térmico e auxilia na remoção de gases nocivos e excesso de umidade. Para aves poedeiras, a ventilação mecânica ou natural deve ser ajustada conforme a estação do ano, de modo a evitar estresse por calor no verão e correntes de ar excessivas no inverno, que podem gerar estresse por frio, especialmente em aves com baixa cobertura corporal.

Em sistemas de produção alternativos, como o *free-range*, a ventilação natural é predominante, sendo fundamental considerar a orientação das instalações e a existência de barreiras vegetativas ou sombreamento natural que atenuem ventos excessivos ou promovam circulação benéfica do ar (ABREU et al., 2001a; CAMPOS, 1986).

3.3.7. Radiação térmica e solar

A radiação térmica refere-se à energia emitida por corpos aquecidos e tem papel essencial no balanço térmico dos animais, especialmente em climas tropicais. A radiação solar, por sua vez, constitui a principal fonte de calor nos períodos diurnos, podendo afetar diretamente o bem-estar das aves quando incide de forma intensa sobre o ambiente ou sobre os próprios animais (OLIVEIRA et al., 2007; SILVA, 2000).

A radiação térmica do ambiente interno pode ser reduzida com o uso de materiais de cobertura e isolamento adequados, como telhas refletivas ou forros térmicos, que minimizam a absorção de calor (FURTADO et al., 2006; COSTA, 1982). A radiação solar direta, por outro lado, exige atenção especial em instalações avícolas com acesso ao ar livre. Em sistemas *free-range*, a exposição direta ao sol em piquetes pode causar estresse térmico, especialmente durante os horários de maior incidência solar (ABREU et al., 2001b).

Além disso, a radiação solar que incide diretamente sobre o piso dos aviários, quando não controlada, eleva a temperatura do microambiente ao nível das aves, prejudicando o conforto térmico e aumentando o risco de hipertermia. O uso de sombreamento natural (árvores) ou artificial (telhas e telas) nos piquetes é uma estratégia eficiente para mitigar os efeitos da radiação direta, além de contribuir para o comportamento natural das aves, como o repouso e o forrageio em áreas mais frescas (PIRES et al., 2012).

3.4. Sistemas de criação na avicultura de postura

3.4.1. Visão geral dos sistemas

A gestão inadequada do ambiente térmico nas instalações de produção de aves no Brasil tem sido uma preocupação significativa, pois muitas vezes não atende às necessidades fisiológicas das aves. No sistema convencional de avicultura de postura, ainda predominante no país, as baterias de gaiolas são amplamente utilizadas. Esse sistema é altamente tecnológico, com alimentação automática, remoção de fezes por esteiras e sistemas eletrônicos para coleta de ovos. As gaiolas eliminam a necessidade de cama, o que oferece vantagens, como a redução do contato com fezes, minimizando o risco de doenças, e melhorando as condições de trabalho

ao diminuir a poeira e a amônia no ambiente (ROCHA; LARA & BAIÃO, 2008; CUNNINGHAM & MAULDIN, 1996). Além disso, as gaiolas previnem o consumo dos próprios ovos pelas aves, uma vez que os ovos são direcionados para áreas fora de seu alcance.

No entanto, as gaiolas convencionais levantam sérias preocupações em relação ao bem-estar animal, pois restringem a expressão de comportamentos naturais, contribuindo para o estresse. O espaço limitado dificulta a movimentação das aves e pode levar a condições como “osteoporose por desuso”, tornando os ossos mais frágeis e propensos a fraturas (ROCHA; LARA & BAIÃO, 2008; WHITEHEAD, 2004).

Para enfrentar essas limitações, a legislação internacional sobre o bem-estar animal tem recomendado mudanças nas instalações e no manejo de aves poedeiras resultando no surgimento de sistemas alternativos, como as “gaiolas enriquecidas” e os sistemas de semiconfinamento. Essas alternativas buscam proporcionar um ambiente mais adequado, com áreas que incluem cama, poleiros e ninhos (BARBOSA FILHO et al., 2007; WHITEHEAD, 2004).

As gaiolas enriquecidas, por exemplo, podem incluir poleiros, ninhos, banhos de areia e dispositivos para desgaste das unhas. Estudos indicam que a presença de poleiros pode ser benéfica às aves ao permitir uma variedade maior de comportamentos e fortalecer os ossos, reduzindo problemas como a fadiga da gaiola e a osteoporose. Contudo, a adição de poleiros também pode levar a problemas, como desvios no esterno e inflamações plantares devido a condições higiênicas inadequadas. Embora haja uma leve redução no consumo de ração e no peso dos ovos, a conversão alimentar não é impactada (TACTACAN et al., 2009).

MARSHALL et al. (2023) verificaram por meio de revisão sistemática (n=321, 2003-2021) que ninhos artificiais podem levar as aves a terem taxas de falha de eclosão superiores aos naturais. Isto deve-se à presença de parasita, microclima inadequado e orientação do alojamento. Por sua vez, evidências recentes indicam que banhos de areia e dispositivos de desgaste de unhas favorecem a saúde e o bem-estar das aves (ZHANG et al., 2023; CAMPBELL et al., 2022; Mi et al., 2020). Em poedeiras adultas, substrato de *dust bath* elevaram significativamente a integridade da mucosa intestinal, seleção microbiana benéfica e expressão gênica imune (MARTIN & MULLENS, 2012). EFSA AHAW PANEL (2023) descartam que, galpões que fornecem esses enriquecimentos promovem comportamentos como *dust bathing* e *preening*, com clara melhora no bem-estar geral das aves.

No sistema semiconfinado, as aves são alojadas em galpões com pisos que podem ser perfurados para separá-las das fezes. Esses galpões oferecem mais espaço e permitem que as aves realizem comportamentos naturais, sendo considerados eficazes para promover o bem-estar animal. Uma comparação entre os sistemas de gaiolas e semiconfinamento revelou que o segundo permite uma maior expressão de comportamentos naturais e proporciona melhores condições de bem-estar, especialmente em situações de estresse térmico (BARBOSA FILHO et al., 2007).

Um modelo inovador dentro do semiconfinamento é o sistema *free-range*, que permite que as poedeiras tenham acesso ao solo e ao ar livre. Esse sistema tem ganhado popularidade devido à demanda do mercado e às regulamentações sobre bem-estar animal. As aves podem realizar atividades naturais, como banhos de areia, acesso a ninhos e a presença de poleiros em diferentes alturas, promovendo maior mobilidade (BRACKE & HOPSTER, 2006; RODENBURG et al., 2003).

O sistema *free-range* é particularmente benéfico para o bem-estar das aves, pois não limita seus comportamentos naturais, permitindo que elas expressem atividades típicas, como caminhar, ciscar, abrir as asas e cuidar da plumagem (BESSEI, 2010; MIAO; GLATZ & RU, 2005; MAHBOUB; MULLER & BORELL, 2004).

3.4.2. Sistema *Free-Range*

Conforme destacado, o sistema convencional de criação de aves tem sido alvo de críticas devido às restrições impostas ao bem-estar animal. O confinamento contínuo das aves em gaiolas limita sua interação com o ambiente externo e restringe a expressão de comportamentos naturais, tornando a vida desses animais estressante e impactando a qualidade dos produtos derivados.

O sistema *free-range*, por sua vez, apresenta semelhanças com o sistema *cage-free*, mas se diferencia principalmente pelo acesso à pastagem. Nesse modelo, as aves têm oportunidade de sair para áreas externas durante determinados períodos do dia, permitindo o contato direto com o solo e a busca por alimento complementar na forma de forragem e pequenos insetos. Esse suplemento alimentar pode influenciar na cor da gema dos ovos. Além disso, a liberdade proporcionada pelo sistema *free-range* contribui para a melhoria do estado físico e do comportamento das aves.

De acordo com a organização *Humane Farm Animal Care* (HFAC, 2014), cada sistema deve oferecer uma área mínima de pastejo de 1.900 cm² por animal e garantir o acesso à pastagem por, no mínimo, seis horas diárias, sempre que as condições climáticas forem favoráveis. No entanto, é fundamental adotar práticas de manejo adequadas para evitar e controlar agentes patogênicos, como parasitas presentes na pastagem. Além disso, é essencial garantir um sombreamento adequado na área de pastejo, seja por meio de estruturas naturais ou artificiais, para minimizar o medo de predadores.

Embora não tenha sido desenvolvido com foco direto no bem-estar animal, esse sistema apresenta vantagens em relação aos métodos tradicionais. No entanto, conforme apontando por Rodenburg et al. (2005), pode apresentar desafios, como um aumento nos níveis de fungos e bactérias em comparação com os sistemas baseados em gaiolas, o que pode comprometer a biossegurança dos alimentos.

Sundrum (2001), destacou que o sistema *free-range* é o menos invasivo para as aves, pois respeita sua liberdade e permite a realização de comportamentos naturais. Da mesma forma, Jones & Mills (1999) argumentaram que o confinamento total pode ser uma fonte de estresse para as aves, contribuindo para prejuízos fisiológicos e comportamentais.

3.4.3. Comportamento animal

O comportamento animal pode ser definido como o conjunto de ações e reações dos animais resultantes de interação com estímulos do ambiente interno ou externo. Essas manifestações não se limitam apenas aos movimentos corporais visíveis, mas também incluem alterações fisiológicas e comportamentais, como mudanças de coloração, emissão de sons e odores, que devem ser igualmente consideradas na análise comportamental (SCOTT, 2005). Segundo Dawkins (2004) e Broom (2011), o comportamento compreende qualquer resposta muscular ou secretora observável, capaz de provocar alterações no ambiente ao redor ou no estado fisiológico do próprio animal.

Esse conceito abrange desde movimentos simples e reflexos até padrões comportamentais mais complexos como comunicação e interações sociais. Fraser (2008) ressalta que o comportamento de um animal não pode ser entendido como uma soma de ações isoladas, mas sim como um conjunto interdependente de manifestações que ocorrem em diferentes níveis do organismo.

Do ponto de vista biológico, o comportamento é determinado por características anatômicas e fisiológicas dos organismos. Na escala filogenética, observa-se uma ampla variação na complexidade do comportamento, desde ações estereotipadas e repetitivas até sequências mais elaboradas e flexíveis (DE OLIVEIRA, 2019).

No início da filogenia, um estímulo específico tenta provocar uma resposta igualmente específica. Esses comportamentos são invariáveis e ocorrem de maneira instintiva, sendo considerados inatos, pois são herdados geneticamente. Os comportamentos inatos não são influenciados pela experiência, sendo variados desde o nascimento e desempenhando um papel adaptativo essencial para a sobrevivência da espécie (ALCOCK, 1998).

À medida que a evolução comportamental avança, observa-se uma maior plasticidade no comportamento, permitindo que os indivíduos desenvolvam respostas ajustadas ao ambiente por meio da aprendizagem. Esses comportamentos adquiridos ou aprendidos resultam da interação do animal com seu meio e podem ser modificados conforme suas experiências (GRIER, 1984).

Desta forma, o comportamento torna-se mais flexível, possibilitando a adaptação às condições ambientais variáveis. As aves, em particular, demonstram uma grande diversidade de comportamentos, tanto inatos quanto adquiridos. Essa variedade comportamental permite que desenvolvam mecanismos adaptativos conforme as condições do ambiente em que vivem, garantindo sua sobrevivência e bem-estar (SHETTLEWORTH, 2001).

3.4.4. Sistemas de criação na Avicultura de postura brasileira

A avicultura de postura no Brasil é marcada por uma dualidade entre a predominância de sistemas convencionais e o crescimento gradual de modelos alternativos de criação. Historicamente, o país adotou majoritariamente o sistema de criação em gaiolas convencionais, caracterizado por seu alto nível de tecnificação e eficiência produtiva. Esse sistema é amplamente utilizado por sua capacidade de controle sanitário, facilidade de manejo e otimização da produção, aspectos que ainda sustentam sua preferência entre produtores, especialmente em escala industrial (ROCHA; LARA & BAIÃO, 2008; CUNNINGHAM & MAULDIN, 1996).

No entanto, preocupações crescentes com o bem-estar animal vêm impulsionando mudanças no setor, inclusive no Brasil. As críticas aos sistemas convencionais se baseiam, principalmente, nas restrições impostas ao comportamento natural das aves, resultando em estresse, lesões ósseas e outros prejuízos fisiológicos (WHITEHEAD, 2004; BESSEI, 2010). A pressão internacional, tanto por parte de consumidores quanto de órgãos reguladores, tem levado países a revisarem suas normas e práticas de produção animal (EFSA AHAW PANEL, 2023).

No Brasil, embora ainda não haja uma legislação específica e abrangente que regule todos os aspectos do bem-estar de poedeiras comerciais, algumas diretrizes vêm sendo implementadas por meio de políticas públicas, normas técnicas e certificações voluntárias.

Destacam-se

- A Instrução Normativa nº 56/2008 do MAPA, que estabelece critérios para o transporte e abate humanitário de aves, servindo como base para discussões sobre bem-estar ao longo de toda a cadeia produtiva (MAPA, 2008).
- As normas de ABNT, como a NBR 16437 e NBR 16724, que tratam de bem-estar animal e estabelecem requisitos para alojamento, manejo e nutrição (ABNT, 2020).
- Certificações voluntárias, como o selo “*Certified Humane Brasil*”, que exigem sistemas *cage-free* ou *free-range*, promovendo um modelo de produção mais alinhado com as exigências internacionais (HFAC, 2014).

Além disso, a adesão de redes varejistas e empresas de alimentos aos compromissos públicos de eliminação progressiva das gaiolas convencionais (sistemas *cage-free*) tem pressionado produtores a migrar para modelos mais éticos, como gaiolas enriquecidas, sistemas semiconfinados e o *free-range* (RODENBURG et al., 2005; BRACKE & HOPSTER, 2006).

Esses sistemas alternativos, além de atenderem às exigências de bem-estar, também respondem à demanda crescente de consumidores conscientes (MIAO; GLATZ & RU, 2005). Contudo, muitos produtores ainda enfrentam dificuldades financeiras e estruturais para adaptar suas granjas, principalmente os de pequeno e médio porte. Ainda há lacunas na fiscalização, padronização normativa e incentivos governamentais, o que compromete a efetividade das mudanças (SUNDGRUM, 2001); JONES & MILLS, 1999).

Em resumo, o Brasil se encontra em um momento de transição na avicultura de postura. Enquanto o sistema convencional permanece como o mais utilizado, exigências legais e sociais relacionadas ao bem-estar animal estão pressionando o setor por mudanças. Para garantir a competitividade internacional e atender aos princípios de sustentabilidade e ética, é essencial o avanço das normativas nacionais, a promoção de incentivos à conversão de sistemas e a capacitação técnica dos produtores (BARBOSA FILHO et al., 2007; CAMBELL et al., 2022).

3.5. Materiais de cobertura no sistema *free-range*

No sistema de criação *free-range*, a escolha dos materiais de cobertura para promoção do sombreamento artificial desempenha um papel crucial na regulação das condições térmicas ambientais da área de pastejo. Esses materiais são utilizados para proporcionar sombreamento, proteger as aves contra intempéries climáticas e garantir um ambiente mais confortável para a expressão dos comportamentos naturais das poedeiras. (EMBRAPA, 2021).

A cobertura pode ser composta por materiais naturais ou artificiais, cada um com características específicas que influenciam a temperatura e a umidade relativa do ar, além da luminosidade do ambiente sob a estrutura de sombreamento (AVINEWS, 2020). A escolha adequada do material impacta diretamente o bem-estar animal, uma vez que influencia a redução do estresse térmico e a distribuição das aves na área de pastejo. Além disso, a durabilidade e a manutenção desses materiais devem ser consideradas para garantir sua eficiência ao longo do tempo (EUBRD DIALOGUES, 2019).

É importante considerar que a utilização de cobertura vegetal no entorno das instalações deve ser mantida com corte baixo (priorizando espécies perenes), a fim de evitar que abrigue parasitas e/ou predadores, o que também contribui para a alteração do microclima do ambiente interno (MIRA, 2021). Coberturas como arbustos, árvores ou estruturas artificiais devem estar distribuídas na área externa para reduzir as reações de medo das aves a predadores aéreos, permitindo que as aves possam expressar seus comportamentos naturais, como tomar seus banhos de areia (GOMES et al., 2015). A rotação dos piquetes, o dimensionamento adequado da área utilizada para os piquetes e a escolha do material de cobertura são aspectos fundamentais no manejo de sistemas *free-range* (MIRA, 2021).

Além disso, a escolha de sombreamento arbóreo pode contribuir significativamente para a redução da radiação solar direta sobre as aves, melhorando as condições térmicas dentro das instalações e favorecendo o conforto térmico das galinhas (GOMES et al., 2015).

3.5.1. Diferentes materiais de cobertura

Os materiais de cobertura podem ser classificados de acordo com sua origem e propriedades térmicas e ópticas. Entre as opções naturais, se destacam:

- Vegetação arbórea e arbustiva: árvores e arbustos são excelentes opções para sombreamento natural, pois fornecem proteção contra a radiação solar e criam um microclima mais fresco. No entanto, sua eficiência depende da densidade da copa e do tipo de vegetação presente na área de pastejo.
- Palha e materiais orgânicos: coberturas feitas com palha, capim seco ou folhas com sombreamento moderado e ajudam na regulação da umidade do solo, além de serem biodegradáveis.

Entre os materiais artificiais mais utilizados, estão:

- Telas sombreadoras: disponíveis em diferentes níveis de sombreamento (por exemplo: 50%, 70%, 80% e 90%), essas telas filtram a radiação solar e permitem a ventilação adequada, reduzindo o acúmulo de calor.
- Telhas de fibrocimento e metálicas: são resistentes, mas sua capacidade térmica varia conforme a composição.
- Telhas cerâmicas: são amplamente utilizadas em instalações avícolas devido à sua capacidade de refletir a radiação solar e isolar termicamente o ambiente, proporcionado conforto térmico para as aves. Além disso, são duráveis, resistentes às intempéries climáticas e contribuem para a estabilidade da temperatura interna das instalações.
- Refletores de polímeros: materiais sintéticos com alta refletância térmica são eficazes na redução da temperatura sob a cobertura, pois minimizam a absorção de radiação solar.

Cada tipo de material apresenta vantagens e desafios, sendo fundamental considerar as condições climáticas da região e as necessidades das aves para uma melhor escolha.

O material utilizado na cobertura das instalações avícolas influencia diretamente a absorção, transmissão e reflexão da radiação solar. A radiação incidente sobre a cobertura pode ser absorvida, transmitida ou refletida em proporções que dependem das características físicas dos materiais (PIRES et al., 1999). A energia absorvida é convertida em calor, que pode ser transferida para o ambiente interno por condução convecção e radiação. Desta forma, a utilização de materiais com bom desempenho térmico é essencial para mitigar os efeitos da radiação e proporcionar conforto térmico às aves.

O fibrocimento é um dos materiais mais utilizados nas instalações avícolas brasileiras, devido à sua facilidade de manutenção, instalação e custo relativamente baixo em comparação com telhas de alumínio e cerâmica (PIRES et al., 1999). No entanto, o uso de materiais isolantes ou reflexivos, bem como a aplicação de forros e tintas térmicas sobre as telhas pode contribuir significativamente para redução da transferência de calor para o interior das instalações (PIRES et al., 1999).

De acordo com Nääs et al. (2001), o telhado é o elemento construtivo que mais influencia o controle da radiação solar dentro dos aviários. Estudos de Fiorelli et al. (2010) indicam que telhas recicladas à base de embalagens longa vida (Tetra Pack®) apresentam índices de conforto térmico comparáveis às telhas cerâmicas, telhas cerâmicas pintadas de branco e telhas de fibrocimento, sendo uma alternativa viável para instalações zootécnicas.

Campos (1986) avaliou galpões cobertos com telhas de cerâmica e de cimento amianto, com e sem forro, e constatou que a presença de forro contribuiu significativamente para a melhoria do conforto térmico. Os melhores resultados foram obtidos nos galpões com telhas de cerâmica e forro, enquanto as piores condições térmicas foram registradas nos galpões com telhas de amianto sem forro. Por sua vez Furtado et al. (2006) analisaram diferentes sistemas de condicionamento térmico em instalações com telhas de cimento amianto e concluíram que a ventilação artificial, a nebulização e a aspersão sobre a cobertura não afetaram significativamente o desempenho produtivo das aves.

Em relação às instalações de poedeiras, Jácome et al. (2007) verificaram que coberturas de telha cerâmica proporcionaram maior conforto térmico nos horários mais quentes do dia em comparação com telhas de cimento amianto. Rocha et al. (2010), por sua vez analisaram frangos de corte criados em aviários na região semiárida paraibana, com coberturas de telha cerâmica e fibrocimento, e concluíram que ambas as coberturas não influenciaram significativamente o desempenho produtivo dos animais.

Dessa forma, a escolha do material de cobertura deve levar em consideração não apenas o custo e a durabilidade, mas também sua capacidade de minimizar o estresse térmico e proporcionar um ambiente adequado para a criação de aves. A utilização de estratégias como forros, revestimentos reflexivos e materiais isolantes pode ser uma solução eficaz para melhorar as condições térmicas dentro das instalações avícolas.

3.5.2. Importância do sombreamento no sistema *free-range*

O sombreamento adequado à área de pastejo é essencial para o bem-estar das poedeiras, pois reduz o estresse térmico e melhora as condições ambientais do sistema de criação. A exposição excessiva ao calor pode levar a impactos negativos, como a redução no consumo alimentar, menor taxa de postura e aumento da mortalidade.

Além da proteção contra a radiação solar direta, o sombreamento influencia a distribuição das aves na área externa, incentivando sua ocupação do piquete e permitindo que expressem comportamentos naturais, como o ciscar e o banho de areia. Ambientes sombreados também são moderados para a manutenção da umidade do solo, evitando superfícies aparentemente secas ou aquecidas, o que pode causar desconforto às aves.

Estudos indicam que poedeiras criadas em sistema com sombreamento apresentam menor incidência de comportamentos indicativos de estresse, como ofegação e apatia, e melhor

desempenho zootécnico em comparação com aquelas expostas e altas temperaturas sem proteção. Desta forma, a implementação de coberturas termicamente eficientes em estruturas de sombreamento artificial no sistema *free-range* é uma estratégia essencial para garantir o bem-estar e a produtividade das aves (MORAIS et al., 2020; GOMES et al., 2017).

3.5.3. Caracterização de materiais

A caracterização de materiais é importante para o entendimento e compreensão do comportamento dos materiais quando submetidos a diferentes condições ambientais. Além disso, permite analisar a microestrutura do material, o que é crucial para entender suas propriedades por meio de conceitos físicos e químicos (CALLISTER, 2002). Em se tratando de produtividade animal, a análise do conforto térmico é essencial, sendo que, para essa análise é importante avaliar parâmetros relacionados aos materiais, como:

- Microestrutura: influencia diretamente as propriedades térmicas do material, como condutividade térmica, capacidade de armazenamento de calor e reflexão de radiação (CALLISTER, 2002). Ao projetar materiais para aplicações específicas, é essencial considerar como a microestrutura afetará a interação com o calor e a umidade, garantindo assim maior conforto térmico para o animal.
- Transmissão de radiação solar: diretamente relacionada à sua microestrutura, a qual influencia a maneira como a radiação interage com o material. A radiação solar inclui espectros de luz visível, ultravioleta (UV) e infravermelho (IV), e a maneira como um material transmite, absorve ou reflete essa radiação depende de sua composição, organização atômica e características microscópicas. Alguns materiais permitem a passagem parcial da luz, o que pode ser indesejado para manter um nível adequado de luminosidade sem provocar superaquecimento (CALLISTER, 2002).
- Refletância: propriedade óptica que descreve a capacidade do material de refletir a radiação incidente, seja ela luz visível, IV ou UV. A refletância é geralmente expressa como a razão entre a quantidade de radiação refletida e a quantidade de radiação incidente, variando de 0 (nenhuma reflexão) a 1 (reflexão total) (CALLISTER, 2002).
- Degradação: diferentes materiais sofrem degradação de maneiras específicas dependendo das condições climáticas a que estão expostos. Portanto, a escolha de materiais resistentes ao ambiente e a adoção de medidas de proteção, como o uso de revestimento, são essenciais para aumentar sua durabilidade, o que deve ser considerada

para garantir sua eficácia ao longo do tempo sem comprometer a estrutura de cobertura (CALLISTER, 2002).

Tais parâmetros são de suma importância para a compreensão do comportamento de diferentes materiais submetidos a condições climáticas idênticas, para então apontar qual o mais promissor dentre eles, além de promover o bem-estar animal no sistema *free-range*.

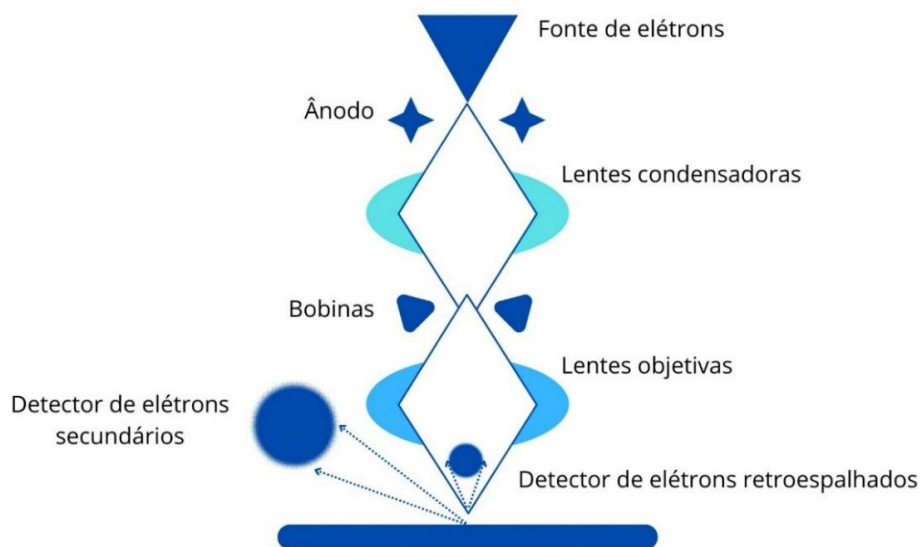
Para a caracterização dos materiais existem diversos métodos, sendo que, um dos usados é Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) (SILVA JUNIOR, 2020; SANTOS et al., 2003).

3.5.4. Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) é uma técnica que consiste em um canhão de elétrons, o qual emite um feixe altamente energético, que é focalizado e direcionado para a amostra por meio de lentes eletromagnéticas (Figura 1). Quando estes elétrons atingem a superfície do material, interagem de diferentes formas, gerando sinais que fornecem informações acerca da microestrutura, composição e morfologia do material (HINRICHS & VASCONCELLOS, 2014). Portanto, essa técnica é fundamental para a análise estrutural de materiais de cobertura, revelando características como:

- Porosidade: materiais porosos tendem a ser ótimos isolantes térmicos, pois os poros são ar estagnado presentes no material, o que dificulta a passagem de ondas térmicas.
- Morfologia: refere-se à forma, estrutura e textura de sua superfície em escalas micro e nanométricas.
- Composição do material: permite visualizar grãos, poros, fibras, camadas e possíveis defeitos na superfície de um material, o que auxilia na compreensão de seu comportamento físico-mecânico e influenciando em suas propriedades térmicas.

Figura 1 - Esquema de funcionamento do MEV.



Fonte: Do autor (2025).

A MEV permite uma avaliação detalhada da interação dos materiais com o ambiente, auxiliando no desenvolvimento de soluções mais eficientes para a regulação térmica no sistema *free-range*.

3.6. Revisão sistemática

A revisão sistemática consiste em um conjunto estruturado de diretrizes previstas para identificar e analisar estudos relevantes sobre uma questão específica. Esse processo segue uma metodologia rigorosa que permite a seleção criteriosa de quais estudos serão incluídos ou excluídos da análise, garantindo a confiabilidade dos resultados obtidos (FLERCHER & FLERCHER, 2006).

A elaboração de uma revisão sistemática segue sete etapas fundamentais: a formulação da pergunta de pesquisa, a identificação e seleção dos estudos pertinentes, a avaliação crítica das pesquisas determinadas, a coleta de dados, a análise e apresentação dos resultados, a interpretação dos resultados e, por fim, o aprimoramento e a atualização das informações conforme novas evidências se tornam disponíveis (HIGGINS et al., 2022).

A realização de revisões sistemáticas apresenta diversas vantagens para a pesquisa científica, pois adota uma abordagem metodológica estruturada, objetiva e reproduzível. Reduzindo vieses e garantindo maior confiabilidade e transparência nos resultados (COOK; MULROW; HAYNES, 1997). Essa abordagem evita a duplicação desnecessária de esforços,

ao sintetizar criticamente os achados de múltiplos estudos sobre um mesmo tema (KITCHEBHAM, 2004).

Além disso, revisões sistemáticas possibilitam a atualização constante da literatura, com a inclusão de estudos mais recentes, e contribuem para a redução de controvérsias científicas, ao oferecer uma análise global, comparativa e criteriosa dos dados disponíveis (MOHER et al., 2009)

Outros benefícios relevantes incluem a antecipação de resultados de ensaios clínicos ou experimentais em larga escala, a identificação precoce de tratamentos ineficazes, o aumento da precisão das estimativas de efeito, a detecção de lacunas no conhecimento, a otimização de recursos científicos e o suporte à tomada de decisões baseadas em evidências (PREFACI et al., 2015; HIGGINS & GREEN, 2011). Esses fatores tornam as revisões sistemáticas uma ferramenta essencial na construção de uma base científica sólida e confiável, tanto em ciência biomédicas quanto nas áreas agrárias e zootécnicas.

Apesar dessas vantagens, uma revisão sistemática também apresenta desafios. A construção do banco de dados pode ser um processo demorado e intelectualmente exigente. Além disso, a qualidade dos estudos individuais na análise pode influenciar os resultados gerais, sem que a revisão tenha o poder de melhorá-los diretamente. A complexidade da metodologia empregada e a necessidade de um esforço colaborativo tornam a realização desse tipo de revisão em processo que requer planejamento cuidadoso e dedicado (ATALLAH & CASTRO, 1998).

3.7. Revisão bibliométrica

A bibliometria é uma abordagem analítica utilizada para identificar e mapear a produção científica em um determinado campo de conhecimento. Segundo Cunha (1985), essa técnica permite reconhecer um conjunto de artigos essenciais, denominados “nucleares”, nos quais se concentram os artigos mais relevantes sobre um tema específico. Essa identificação é possível devido à prática consolidada na comunidade científica de fornecer referências bibliográficas em qualquer estudo publicado.

A revisão bibliométrica distingue-se metodologicamente da revisão bibliográfica tradicional. Enquanto essa última busca sintetizar de forma descritiva e qualitativa o estado da arte sobre determinado tema, servindo como base teórica para novas investigações, a revisão bibliométrica aplica métodos quantitativos para analisar grandes volumes de produção científica (ARAÚJO, 2006; DONTU et al., 2021).

A revisão bibliográfica convencional permite identificar os principais conceitos, autores e tendências teóricas relacionados a uma área de conhecimento, oferecendo um panorama interpretativo que favorece a construção de hipóteses e o delineamento de lacunas (GIL, 2010). Ademais, a revisão bibliométrica tem como foco mensurar padrões e indicadores da atividade científica, como frequência de publicações, coautorias, redes de colaboração, impacto de periódicos, coocorrência de palavras-chave e tendências temporais de publicações (ROMERO; GOMES; CALDAS, 2016).

Essa abordagem é especialmente útil para mapear a evolução de áreas do conhecimento, identificar os principais centros de pesquisa, autores mais influentes, e relações entre estudos, o que contribui para uma compreensão mais ampla e estruturada do campo investigado. Dessa forma, a revisão bibliométrica não substitui, mas complementa a revisão bibliográfica, sendo cada vez mais utilizada na elaboração de teses, dissertações e artigos científicos (DONTHU et al., 2021; MORETTI et al., 2020).

Castro (2001) enfatizou que uma das limitações da revisão bibliográfica tradicional é a influência das suposições do autor e possíveis visões na seleção e análise dos trabalhos, o que pode comprometer a imparcialidade dos resultados em contrapartida, uma revisão bibliométrica permite uma abordagem mais objetiva e sistemática, possibilitando ao pesquisador mapear as tendências científicas e identificar lacunas na literatura.

A aplicação dessa técnica é essencial para a construção do conhecimento, pois fornece um panorama detalhado da evolução das pesquisas em determinada área e auxilia na formulação de novas perguntas científicas. Além disso, contribui para o desenvolvimento de um corpo teórico sólido, orientando os pesquisadores na tomada de decisões baseadas em dados concretos e na identificação de oportunidades para estudos futuros.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A crescente demanda por sistemas de produção sustentáveis e eticamente responsáveis tem impulsionado a adoção de sistemas alternativos de criação de aves, como o *free-range*. Nesse contexto, o conforto térmico e o bem-estar das poedeiras se tornam elementos centrais na definição de estratégias de manejo que garantam não apenas a produtividade, mas também a qualidade de vida dos animais. A revisão apresentada evidencia a complexidade dos fatores que interferem no microclima das instalações e nas áreas externas acessadas pelas aves, com

destaque para as variáveis termoambientais, os índices de conforto térmico e os materiais utilizados para sombreamento.

A problemática reside no desafio de manter condições ambientais adequadas em sistemas ao ar livre, especialmente em regiões tropicais, onde a radiação solar intensa e as altas temperaturas podem comprometer significativamente o desempenho zootécnico e o bem-estar animal. Nesse cenário, o uso de materiais de cobertura eficientes, avaliados termicamente e por meio da sua caracterização estrutural, pode contribuir para a seleção de soluções mais eficazes de sombreamento, reduzindo a carga térmica e promovendo um ambiente mais confortável para as aves.

Dessa forma, a condução de pesquisas voltadas para a caracterização e avaliação do desempenho térmico de diferentes materiais aplicados ao sistema *free-range* é de grande relevância. Além de preencher lacunas na literatura científica, os resultados obtidos poderão subsidiar práticas de manejo mais sustentáveis, alinhadas às exigências do bem-estar animal e ao aprimoramento da produção avícola.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.

NBR 16437: Bem-estar animal – Requisitos gerais para os animais de produção. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ABREU, P. G. de et al. **Ambiência térmica em instalações agropecuárias: avaliação e controle.** Concórdia: EMBRAPA Suínos e Aves, 2001a.

ABREU, P. G. de.; ABREU, V. M. N.; DALLA COSTA, O. Avaliação de Coberturas de Cabanas de Maternidade em Sistema Intensivo de Suínos Criados ao Ar Livre (Siscal), no Verão. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 30, n. 6, p. 1728-1734, 2001b.

ALCOCK, C. et al. Discovery and characterization of a caustic crossing microlensing event in the SMC. 1998. Disponível em: <<http://arxiv.org/abs/astro-ph/9807163>>.

ALVES, S. P. Avaliação do bem-estar de aves poedeiras comerciais: efeitos do sistema de criação e do ambiente bioclimático sobre o desempenho das aves e a qualidade de ovos. In: **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, n.5, p.1388-1394, 2007.

APPLEBY, M. C.; MENCH, J. A.; OLSSON, I. A. S.; HUGHES, B. O. *Animal Welfare*, 2nd Ed., **Wallingford:Cabi**, 2011.

ARAÚJO, C. A.

Bibliometria: evolução histórica e questões atuais. *Em Questão*, Porto Alegre, v. 12, n. 1, p. 11–32, 2006.

ATALLAH, A. N.; CASTRO, A. A. Revisão sistemática da literatura e metanálise. **Medicina baseada em evidências: fundamentos da pesquisa clínica**. São Paulo: Lemos-Editorial, p. 42-48, 1998.

AVINEWS. Instalações Poedeiras e Bem-Estar Animal. Disponível em: <https://avinews.com/pt-br/instalacoes-poedeiras-bem-estar-animal/>. Acesso em: 14 abr. 2025.

BAÊTA, C.; SOUZA, C. DE. F. **Ambiência em edificações rurais: conforto animal**. Viçosa, MG: UFV, 1997.

BAÊTA, F. C.; SOUZA, C. F. de. **Ambiência em edificações rurais: conforto animal**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2010.

BARBOSA FILHO, J. A. D. **Avaliação do bem-estar de aves poedeiras em diferentes sistemas de produção e condições ambientais utilizando análises de imagens**. 2005. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

BARBOSA FILHO, J. A. D. Efeito do estresse térmico em poedeiras comerciais. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v. 6, n. 1, p. 13-17, 2004.

BARBOSA FILHO, J. A. D.; SILVA, I. J. O.; SILVA, M. A. N.; SILVA, C. J. M. Avaliação dos comportamentos de aves poedeiras utilizando sequência de imagens. **Engenharia Agrícola**, Botucatu, v. 27, p. 93-99, 2007.

BESSEI, W. Behavior of laying hens in small group systems in the view of animal welfare. **Archiv fur Geflugelkd**, Germany. v.74, p. 6-12, 2010.

BESTMAN, M.; WAGENAAR, J.-P. Health and welfare in dutch organic laying hens. **Animals: an open access journal from MDPI**, v. 4, n. 2, p. 374–390, 2014.

Bibliografia

BOLELI, I. C. et al. Poultry egg incubation: Integrating and optimizing production efficiency. **Revista brasileira de ciência avícola**, v. 18, n. spe2, p. 1–16, 2016.

BOND, T. E.; KELLY, C. F. The globe thermometer in agricultural research. **Agricultural Engineering**, St. Joseph, MI. 1955. 10 p.

BRACKE, M. B. M.; HOPSTER, H. Assessing the importance of natural behavior for animal welfare. **Journal of Agricultural and Environmental Ethics**. Canadá, v. 19, p. 77-89, 2006.

BRIDI, A. M. **Instalações e Ambiência em Produção Animal**. 2006. Disponível em: <http://www.uel.br/pessoal/ambridi/Bioclimatologia_arquivos/EfeitosdoAmbienteTropicalsobreaProducaoAnimal.pdf> . Acesso em: 3 de Fevereiro de 2025.

BROOM, D. M. A history of animal welfare science. **Acta Biotheoretica**. Netherlands, v.59, p.121-137, 2011.

BROOM, D. M.; JOHNSON, K. G. Stress and Animal Welfare, Dordrecht (The Netherlands), **Kluwer Academic Publisher**, 2000. 211p.

BROOM, D. M.; MOLENTO, C. F. M. Bem-estar animal: Conceito e Questões relacionadas revisão. **Archives of veterinary Science**, v. 9, n. 2, 2004.

BUFFINGTON, D. E.; COLLASSO-AROCHO, A.; CANTON, G. H.; PIT, D. Black globe-humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. **Transactions of the ASAE, St. Joseph**, v. 24, n. 3, p. 711-14, 1981.

CALDERÓN, N. A. M.; GARCIA, R. C. M. Bem-estar animal. In: Tratado de Medicina Interna de Cães e Gatos. Seção C Comportamento e Direito Animal, v. 2, p.2282-87; Jerico MM, Andrade Neto JP, Kogika MM. **Ed. Roca**, 2015.

CALLISTER, W. D., **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. John Wiley & Sons, Inc., 2002.

CAMERINI, N. L.; MENDES, L. B.; MOTA, J. K. M.; NASCIMENTO, J. W. B.; FURTADO, D. A. Avaliação de instrumentos agrometeorológicos alternativos para o monitoramento da ambiência em galpões avícolas. **Engenharia na agricultura**, Viçosa - MG, v. 19, n. 2. p. 125-131, 2011.

Campbell, D. L. M., Belson, S., Erasmus, M. A., & Lea, J. M. (2022). Behavior and welfare impacts of water provision via misting in commercial Pekin ducks. **Journal of Animal Science**, 100(12), skac341.

CAMPOS, A. T. Determinação de índices de conforto térmico e da carga de térmica radiação em quatro tipos de galpões, em condições de verão para Viçosa. 1986. 66 p. Dissertação (Mestrado em Construções Rurais e Ambiência) - **Universidade Federal de Viçosa**, Viçosa, 1986.

CARDOSO, C. A. de O. et al. Avaliação do desempenho térmico de coberturas utilizadas em instalações agropecuárias. *Revista Engenharia na Agricultura*, v. 19, n. 1, p. 17–26, 2011. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/reveng/article/view/234>. Acesso em: 13 maio 2025.

CASTRO. A. A. Revisão Sistemática e Meta-análise. 2001. Disponível em: <http://www.metodologia.org>. Acesso em 3 de Fevereiro de 2025.

CHEPETE, H. J.; XIN, H. Cooling laying hens by intermittent partial surface sprinkling. *Transactions of the ASAE, United States*, v. 43, p. 965-971, 2000.

COCKRAM, M. S.; HUGHES, B. O. Health and Disease. In: Appleby MC, Mench JA, Olsson IAS, Hughes BO. **Animal Welfare**. 2nd ed. Wallingford:Cabi, 2011. Cap. 8.

COOK, D. J.; MULROW, C. D.; HAYNES, R. B. Systematic reviews: synthesis of best evidence for clinical decisions. *Annals of Internal Medicine*, v. 126, n. 5, p. 376–380, 1997.

COSTA E. C. Arquitetura Ecológica: condicionamento térmico natural. 5. ed. São Paulo: Edgard Blücher. 1982. 264 p.

COSTA, J. F. R. da. **Conforto térmico na produção animal**. Jaboticabal: FUNEP, 1982

CUNNINGHAM, D. L.; MAULDIN, J. M.

Cage housing, egg quality, and performance of hens. *Poultry Science*, v. 75, p. 1030–1033, 1996.

CUNNINGHAM. D. L.; MAULDIN, J. M. Cage housing, beak trimming, and induced molting of layers: A review of welfare and production issues; **Journal of Applied Poultry Research**, United States, v. 5, p. 63-69, 1996

- CURTIS, S. E. **Environmental management in animal agriculture**. Iowa: Iowa State University Presse, 1983. 409 p
- DAWKINS, M. S. Using behavior to assess animal welfare. **Animal Welfare**, England, v. 13, p. 3-7, 2004.
- DE OLIVEIRA, R., DA SILVA, H. L., MIRA, L. B., DA SILVA, L. V., & DE JESUS, S. F. P. (2019). BEM-ESTAR DAS GALINHAS POEDEIRAS. **Anais Sintagro**, 11(1).
- DONALD, J. Environmental control options under different climatic conditions. **World Poultry Elsevier**, Netherlands, v. 14, p. 22-23, 1998.
- DONTHU, N. et al. How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, v. 133, p. 285–296, 2021.
- DUNCAN, I. J. H. Science-based assessment of animal welfare: farm animals. **Rev. sci. tech. Off. Int. Epiz.** 24(2), 2005. p.483-492.
- EFSA AHAW PANEL – EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY, Animal Health and Welfare Panel.
Welfare of laying hens: scientific opinion. *EFSA Journal*, v. 21, n. 2, 2023.
- EFSA PANEL ON ANIMAL HEALTH AND ANIMAL WELFARE (AHAW) et al. Welfare of laying hens on farm. **EFSA journal**, v. 21, n. 2, 2023.
- EMBRAPA. Manual de Boas Práticas na Produção de Galinhas Poedeiras. Brasília, DF: Embrapa, 2021. Disponível em:
<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1127416/1/Cartilha.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2025.
- ESMAY, M. L. Principles of animal environment. Environmental Engineering in Agriculture and Food Series. **The AVI Publishing Company**, 1979. 325 p
- EU-BRD DIALOGUES. Guia de Criação de Galinhas Poedeiras: Sombreamento e Conforto Térmico. 2019. Disponível em:
https://eubrdialogues.com/documentos/proyectos/adjuntos/b26c49_X-GUIA-GALINHAS-2019.pdf. Acesso em: 14 abr. 2025.
- FAO. **Capacitação para implementar boas práticas de bem-estar animal Relatório do Encontro de Especialistas da FAO**. Sede Mundial da FAO, Roma, 30/09 a 03/10/2008.
- FAWC - **Farm Animal Welfare Council** -. Farm Animal Welfare in Great Britain: Past, Present and Future. Disponível em:
https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/319292/Farm_Animal_Welfare_in_Great_Britain_-_Past__Present_and_Future.pdf . Acesso em 5 de Fevereiro de 2025. 2009.
- FAWC – FARM ANIMAL WELFARE COUNCIL.
Five Freedoms. Londres: FAWC, 2009. Disponível em: <https://www.fawc.org.uk>. Acesso em: 15 jul. 2025.
- FERREIRA, R. A. **Maior produção com melhor ambiente para aves, suínos e bovinos**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2005. 371 p.

FIORELLI, J. et al. Análise do desempenho térmico de telhas recicladas e convencionais para uso em construções rurais. *Engenharia Agrícola*, v. 29, n. 3, p. 447–457, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eagri/a/HKXvtPDCYdV7Lz7mwvXQmK/>. Acesso em: 13 maio 2025.

FIORELLI, J.; MORCELI, J. A. B.; VAZ, R. I.; DIAS, A. A. Influência de diferentes materiais de cobertura no conforto térmico de instalações para frangos de corte no oeste paulista. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal v. 30, n. 5, p. 986-992, 2010.

FLETCHER, R. H.; FLETCHER, S. W. **Epidemiologia clínica, elementos essenciais**. Tradução: Roberta Marchiori Martins, Porto Alegre, Artmed, 2006.

FONSECA, P. C. F. Efeito do manejo de cobertura sobre índice de conforto térmico, variáveis fisiológicas e desempenho de bezerros leiteiros. 2010. 55 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agroindustriais) - **Universidade Estadual de Goiás**, Anápolis, 2010.

FONSECA, R. et al. Avaliação da carga térmica radiante em abrigos para bezerros leiteiros com diferentes tipos de telhas. UNESP - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2011. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/103594>. Acesso em: 13 maio 2025.

FRASER, D. Can we measure distress in animal. **Ethology of non human animals**, 2009.

FRASER, D.

Understanding animal welfare: the science in its cultural context. Oxford: Wiley-Blackwell, 2008.

FRASER, D. Understanding animal welfare. **Acta Veterinária Scandinavica**. Denmark, v. 50, p. 1-8, 2008.

FUQUAY, J. W. Heat stress as it affects animal production. **Journal of Animal Science**, England, v. 52, p. 164-174, 1981

FURTADO, D. A. et al. Efeito de diferentes coberturas sobre o conforto térmico de galpões para aves. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 3, p. 742–747, 2006.

FURTADO, D. A.; AZEVEDO, P. V.; TINÔCO, I. F. F. Análise do conforto térmico em galpões avícolas com diferentes sistemas de acondicionamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 3, p. 559-564, 2003.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GOMES, L. C. et al. Sombreamento arbóreo e orientação de instalações avícolas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 1, p. 15-20, 2017.

GOMES, L. et al. Sombreamento Arbóreo e Orientação de Instalações Avícolas. ResearchGate, 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/240971880_Sombreamento_arboreo_e_orientacao_de_instalacoes_avicolas. Acesso em: 14 abr. 2025.

GRANDIN, T. **Improving Animal Welfare. A Practical approach**. Cabi, 2010. 328p.

GREEN, T. C.; MELLOR, D. J. Extending ideas about animal welfare assessment to include ‘quality of life’ and related concepts. *N. Z. Vet. J.* 2011, 59, 316–324. Disponível em:

<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00480169.2011.610283> . Acesso em 4 de Fevereiro de 2025.

GRIER, J. W. **Biology of animal behavior**. St Louis: Times Mirror/Mosby College Publishing, 1984. 693 p.

HANNAS, M. I. Aspectos fisiológicos e a produção de suínos em clima quente. In: SILVA, Iran José Oliveira da. **Ambiência e Qualidade na Produção Industrial de Suínos**. Piracicaba: FEALQ, 1999. p. 1-33.

HARDY, R. N. **Temperatura e vida animal**. 2. ed. São Paulo: EPU/EDUSP, 1981. 91 p

HFAC – HUMANE FARM ANIMAL CARE.

Animal care standards: laying hens. Certified Humane®. Herndon, VA, 2014. Disponível em: <https://certifiedhumane.org>. Acesso em: 15 jul. 2025.

HIGGINS, J. P. T.; GREEN, S. (Ed.). **Cochrane handbook for systematic reviews of interventions**. Version 5.1.0. The Cochrane Collaboration, 2011. Disponível em: <https://training.cochrane.org/handbook>. Acesso em: 21 jul. 2025.

HIGGINS, J. P. T.; THOMAS, J.; CHANDLER, J.; CUMPSTON, M.; LI, T.; PAGE, M. J.; WELCH, V. A.; **Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions version 6.3**. Cochrane. 2022. Disponível em: <https://training.cochrane.org/handbook/current>. Acesso em: 3 de Fevereiro de 2025.

HINRICH, R.; VASCONCELLOS, M. **Microscopia eletrônica de varredura (MEV) em baixo vácuo**. 2014.

HUMANE FARM ANIMAL CARE. **Padrões do HFAC para a Produção de Galinhas Poedeiras**. Herndon Va: HFAC, 2014.

HUMANE FARM ANIMAL CARE. **Padrões do HFAC para a Produção de Galinhas Poedeiras**. Herndon Va: HFAC, 2018.

INTRODUCTION TO THE RECOMMENDATIONS FOR ANIMAL WELFARE. Terrestrial Animal Health Code. Ed. 27. Paris: **World organization for animal health**, 2018.

ITEC - Instituto Técnico de Educação e Controle Animal. **Introdução ao manejo etológico canino**. Cursos de Formação de Oficiais de Controle Animal. DVD. 2008.

JÁCOME, J. M. T. D. et al. Avaliação de índices de conforto térmico de instalações para poedeiras no nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.5, p.527–531, 2007.

JENTZSCH, R. Estudos de modelos reduzidos destinados à predição de parâmetros térmicos ambientais em instalações agrícolas. 2002. 103 p. Tese (Doutorado em Construções Rurais e Ambiência) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

JONES, R. B.; MILLS, A. D.

Distress and adaptation in poultry. *World's Poultry Science Journal*, v. 55, p. 277–284, 1999.

JONES, R.B.; MILLS, A.D. Divergent selection for social reinstatement behavior in Japanese quail: effects on sociality and social discrimination. **Poultry Avian Biology Review**, v.10, n.4, p.213-223, 1999.

- KEELING, L. J.; RUSHEN, J.; DUNCAN, I. J. H. Understanding animal welfare. In: Appleby MC, Mench JA, Olsson IAS, Hughes BO. **Animal Welfare**. 2nd ed. Wallingford: Cabi, 2011. cap. 2.
- KITCHENHAM, B. Procedures for performing systematic reviews. *Keele University Technical Report TR/SE-0401*, 2004.
- LE DIVIDICH, J.; NOBLET, J.; HERPIN, P.; VAN MILGEN, J.; QUINIOU, N. Thermoregulation. Nottingham: University Press, 1998. 213 p.
- MACARI, M.; FURLAN, R. L.; MAIORKA, A. Aspectos fisiológicos e de manejo para manutenção da homeostase térmica e controle de síndromes metabólicas. In: MENDES, A. A. et al. (Ed.). **Produção de frangos de corte**. Campinas: FACTA, 2004, v. 1, p. 137-157.
- MAHBOUB, H. D. H.; MÜLLER, J.; VON BORELL, E. Outdoor use, tonic immobility, heterophil/lymphocyte ratio and feather condition in free-range laying hens of different genotype. **British Poultry Science**, v. 45, n. 6, p. 738–744, 2004.
- MAPA – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Instrução Normativa nº 56, de 6 de novembro de 2008**. Estabelece procedimentos para o abate humanitário de animais. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 07 nov. 2008.
- MARSHALL, A. F. et al. Systematic review of avian hatching failure and implications for conservation. **Biological reviews of the Cambridge Philosophical Society**, v. 98, n. 3, p. 807–832, 2023.
- MARTIN, C. D.; MULLENS, B. A. Housing and dustbathing effects on northern fowl mites (*Ornithonyssus sylviarum*) and chicken body lice (*Menacanthus stramineus*) on hens. **Medical and veterinary entomology**, v. 26, n. 3, p. 323–333, 2012.
- MASON, G.; RUSHEN, J. **Stereotypic animal behaviour: fundamentals and application to welfare**. Second Edition. Cambridge: CABI, 2008. 384p
- MCMILLAN, F. D. Mental health and well-being in animals. Boston: Blackwell Publishing, 2005.
- MEDEIROS, C. M.; BAÊTA, F. C.; OLIVEIRA, R. F. M.; TINÔCO, I. F. F. T.; ALBINO, L. F. T.; CECON, P. R. Efeitos da temperatura, umidade relativa e velocidade do ar em frangos de corte. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 13, n. 4, 277-286, 2005.
- MEDEIROS, L. F. D.; VIEIRA, D. H. **Bioclimatologia animal**. Seropédica: UFRRJ, 1997. 126 p.
- MELLOR, D. J. et al.
The Five Domains Model: welfare-focused assessment of animal quality of life. *Animals*, v. 10, n. 10, p. 1870, 2020.
- MELLOR, D. J.; PATTERSON-KANE, E.; STAFFORD, K. J. **The Sciences of Animal Welfare**. 2009. 212p.
- MENEGALI, I.; FURLAN, R. L.; GARCIA, E. A.; MÓRI, C. Avicultura e ambiência: estresse calórico e implicações na produção. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, p. 179–187, 2009. Supl. Especial.

MENGIST, W.; SOROMESSA, T.; LEGESE, G. Method for conducting systematic literature review and meta-analysis for environmental science research. **MethodsX**, v. 7, n. 100777, p. 100777, 2020.

Mi, J., Wang, H., Chen, X., Hartcher, K., Wang, Y., Wu, Y., & Liao, X. (2020). Lack of access to an open water source for bathing inhibited the development of the preen gland and preening behavior in Sanshui White ducks. **Poultry Science**, 99(11), 5214–5221.

MIAO, Z. H.; GLATZ, P. C.; RU, Y. J. Free-range poultry production - A review. **AsianAust. Journal of Animal Science**, England, v.18, p, 113-132, 2005

MIRA. Informativo de Boas Práticas: Manejo em Piometria para Galinhas Poedeiras. 2021. Disponível em: <https://mira.org.br/wp-content/uploads/2021/08/informativo04.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2025.

MOHER, D. et al. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *PLoS Medicine*, v. 6, n. 7, e1000097, 2009.

MOLENTO, C.F.M. Bem-estar e produção animal: aspectos econômicos – revisão. **Archives of Veterinary Science**, v. 10, n. 1, p. 1 – 11, 2005.

MORAIS, D. A. et al. Desempenho e comportamento de poedeiras em diferentes sistemas de criação e níveis de sombreamento. **Revista Ciência Animal Brasileira**, v. 21, e-51499, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1809-6891v21e-51499>. Acesso em: 14 abr. 2025.

MORETTI, A. C. et al. Aplicações da análise bibliométrica em revisões de literatura: uma revisão sistemática. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 8, p. 60163–60181, 2020.

NÃÃS, I. A.; SEVEGNANI, K. B.; MARCHETO, F. G.; ESPELHO, J. C. C.; MENEGASSI, V.; SILVA, I. J. O. Avaliação térmica de telhas de composição de celulose e betumem, pintadas de branco, em modelos de aviários com escala reduzida. **Engenharia Agrícola**, v. 21, n. 2, p. 121-126, 2001.

OIEa (World Organisation for Animal Health). Chapter 7.1: Introduction to the recommendations for animal welfare. In: **Terrestrial Animal Health Code**, Volume 1. Disponível em: http://www.oie.int/index.php?id=169&L=2&htmfile=chapitre_aw_introduction.htm. Acesso em 2 de Fevereiro de 2025.

OIEb (World Organisation for Animal Health). Chapter 7.8: Use of animals in research and education. In: **Terrestrial Animal Health Code**, Volume 1. Disponível em: http://www.oie.int/index.php?id=169&L=2&htmfile=chapitre_aw_research_education.htm. Acesso em 2 de Fevereiro de 2025.

OKOCHA, R. C.; OLATOYE, I. O.; ADEDEJI, O. B. Impacts of the use of antimicrobials on food security and its residues in aquaculture. *Public health reviews*, v. 39, n. 1, p. 1-22, 2018.

OLIVEIRA, D. de; FURTADO, D. A.; NASCIMENTO, J. W. B. Radiação solar em sistemas de criação de aves: aspectos térmicos e ambientais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 3, p. 321-326, 2007

OLIVEIRA, J. L.; ESMAY, M. L. Systems model analysys of hot weather housing for livestock. **American Society of Agricultural Engineers**, Saint Joseph, p. 1-17, 1981. Paper 81-4561.

- OLIVEIRA, M. T. de et al. Influência de diferentes materiais de cobertura sobre o conforto térmico em instalações para ovinos. *Arquivos de Ciências Veterinárias e Zoologia da UNIPAR*, v. 24, n. 4, p. 137–144, 2021.
- PADILHA, J. A. S.; TOLÊDO FILHO, R. D.; LIMA, LIMA, P. R. L.; JOSEPH, K.; LEAL, A. F. Argamassa leve reforçada com polpa de sisal: compósito de baixa condutividade térmica para uso em edificações rurais. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 21, n.1. p. 1-11, 2001.
- PIASENTIN, J. A. Conforto medido pelo índice de temperatura de globo e umidade na produção de frango de corte para dois tipos de piso em Viçosa - MG. 1984. 98p. Dissertação (Mestrado) - **Universidade Federal de Viçosa**, Viçosa, 1984.
- PIRES, M. F. A.; FONSECA, C. E. L.; SOUZA, S. R. L. Estratégias de sombreamento e bem-estar térmico de animais em pastejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 41, n. 1, p. 1-10, 2012.
- PIRES, S. R. M.; TINÔCO, I. F. F.; COSTA, F. B.; CECOM, P. R. Conforto térmico em galpões avícolas sob coberturas de cimentos-amianto e suas diferentes associações. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 3, n. 1, p. 89-92, 1999.
- PREFACI, A. et al. Systematic reviews and meta-analyses: tools for translating evidence into practice. *Journal of Animal Science*, v. 93, p. 6–9, 2015.
- RIVERO, R. O. **Arquitetura e clima: acondicionamento térmico natural**. 2. ed. Porto Alegre: D. C. Luzzato, 1986. 240 p.
- ROCHA, H. P.; FURTADO, D. A. J.; NASCIMENTO, W. B.; SILVA, J. H. V. Índices bioclimáticos e produtivos em diferentes galpões avícolas no semiárido paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.14, n. 12, p. 1330-1336, 2010.
- ROCHA, J. S. R.; LARA, L. J. C.; BAIÃO, N. C. Produção e bem-estar animal: aspectos éticos e técnicos da produção intensiva de aves. **Ciência Veterinária nos Trópicos**. Pernambuco, v. 11, p. 49-55, 2008.
- RODENBURG, T. B.; BUITENHUIS, A. J.; ASK, B.; UITDEHAAG, K.; KOENE, P.; VAN DER POEL, J. J.; BOVENHUIS, H. Heritability of feather pecking and open field response in laying hens at two different ages. **Poultry Science**, Champaign, v. 82, p. 862-867, 2003.
- RODENBURG, T. B.; TUYTTENS, F. A. M.; SONCK, B.; DE REU, K.; HERMAN, L.; ZOONS, J. Welfare, health, and hygiene of laying hens housed in furnished cages and in alternative housing systems. **Journal of Applied Animal Welfare Science**, England, v. 8, p. 211-226, 2005.
- RODRIGUES, C. L.; ZIEGELMANN, P. K. Metanálise: um guia prático. **Revista HCPA**, v. 30, n. 4, p. 435-447, 2010.
- ROMERO, A. W. A.; GOMES, C. A.; CALDAS, M. P. Bibliometria: uma ferramenta para mapeamento da produção científica em administração. *Revista de Administração Mackenzie*, v. 17, n. 5, p. 102–129, 2016.
- ROMIJN, C.; LOKHORST, W. Some physiological effects of high environmental temperatures on poultry. *Journal of Animal Science*, v. 25, n. 3, p. 513–516, 1966.

ROSSI, A. T.; BERTOLINO, L. R.; ARAÚJO, L. R. S. Bem-estar animal no transporte de bovinos. Em: **Atualidades na saúde e bem-estar animal**. [s.l.] Editora In Vivo, 2020. p. 50–61 43.

ROSSI, L. A. et al.

Indicadores fisiológicos na avaliação do bem-estar de aves de produção. *Revista Brasileira de Ciência Animal*, v. 43, n. 2, p. 89–97, 2020.

SANTOS, B.; NEVES, A. Z.; RIBEIRO, L. F. Importância do bem-estar animal na bovinocultura de leite. **GETEC**, v. 10, n. 26, p. 126-133, 2021.

SANTOS, L. J. C. et al. Utilização do Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) para o reconhecimento de revestimentos argilosos. **Boletim Paranaense de Geociências**, n. 53, p. 35-43, 2003. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/305322881>. Acesso em: 14 abr. 2025.

SANTOS, R. M. et al.

Métodos e indicadores para avaliação do bem-estar em sistemas avícolas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 50, e20210117, 2021.

SCHACHNER, A.; GRAFL, B.; HESS, M. Highlight in avian pathology: avian adenovirus (FAdV) in chickens and beyond - an unresolved host-pathogen interaction. *Avian Pathology*, v. 50, n. 1, p. 2-5, 2021.

SCOTT, G. **Essential Animal Behavior**. Champaing: Blackwell Publishing, 2005. 202p.

SHETTLEWORTH, S. J. Animal cognition and animal behaviour. *Animal Behaviour*, Amsterdam, v. 61, n. 2, p. 277-286, 2001.

SILVA JUNIOR, M. E. da. Síntese e caracterização de pós metálicos obtidos por moagem de alta energia. 2020. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2020. Disponível em: <https://attena.ufpe.br/bitstream/123456789/38420/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O%20Moi s%C3%A9s%20Euclides%20da%20Silva%20Junior.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2025.

SILVA, I. J. O. Manejo do ambiente para minimizar o calor sobre aves de postura. In: FCAV/Unesp Jaboticabal (Org.). **II Curso de atualização em avicultura para postura comercial**. Jaboticabal, 2005. p. 141-175.

SILVA, R. G. **Introdução à bioclimatologia animal**. São Paulo: Nobel, 2000. 286 p.

SUNDGRUM, A.

Organic livestock farming: a critical review. *Livestock Production Science*, v. 67, p. 207–215, 2001.

SUNDRUM, A. Organic livestock farming – A critical review. *Livestock Production Science*, v.67, n.3, p.207-215, 2001.

TACTACAN, G. B.; GUENTER, W.; LEWIS, N. J.; RODRIGUEZ-LECOMPETE, J. C.; HOUSE, J. D. Performance and welfare of laying hens in conventional and enriched cages. **Poultry Science**, Champaing, v. 88, p. 698-707, 2009.

TEIXEIRA, V. H. **Construções e ambiência para suínos**. Lavras: UFLA/FAEP, 2004. 47 p.

THOM, E. C. The discomfort index. **Weatherwise**, Boston, v. 12, n. 1, p. 57- 60, 1959.

TINÔCO, L. F. F. Avicultura industrial: Novos conceitos de materiais, concepções e técnicas construtivas disponíveis para galpões avícolas brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, v. 3, p. 1-30, 2001.

TURNPENNY, J. R.; WATHES, C. M.; CLARK, J. A.; MCARTHUR, A. J. Thermal balance of livestock. 2. Applications of a parsimonious model. **Agricultural and Forest Meteorology**, Netherlands, v. 101, p.29-52, 2000

VIÑUELA-FERNÁNDES, I.; WEARY, D. M.; FLECKENELL, P. Pain. In: Appleby MC, Mench JA, Olsson IAS, Hughes BO. **Animal Welfare**. 2nd ed. Wallingford:Cabi, 2011. Cap.5.

WHITEHEAD, E. E. Overview of bone biology in the egg-laying hen. **Poultry Science**, Champaign, v. 83, p. 193-199, 2004.

WILLMER, P.; STONE, G.; JOHNSTON, I. Environmental physiology of animals. Blackwell Science, England, v. 2, p. 178-2011, 2000.

YANAGI, T.; AMARAL, A.G.; TEIXEIRA, V. H.; LIMA, R. R. Caracterização espacial do ambiente termoacústico e de iluminação em galpão comercial para criação de frangos de corte. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, p. 1-12, 2011.

YEATES, J. W.; MAIN, D. C. J.

Assessment of positive welfare: a review. *The Veterinary Journal*, v. 175, n. 3, p. 293–300, 2009.

Zhang, X., Wang, Y., Li, J., Liu, H., & Sun, Z. (2023). Effects of dustbathing environment on intestinal histomorphology, gut microbiota composition, and immune response in laying hens. **Poultry Science**, 102(5), 2154–2165.

CAPÍTULO 2 – REVISÃO SISTEMÁTICA E BIBLIOMÉTRICA DE MATERIAIS DE COBERTURA EM INSTALAÇÕES AGROPECUÁRIAS: TENDÊNCIAS E IMPACTOS NO CONFORTO TÉRMICO ANIMAL

RESUMO

Este estudo realizou uma revisão sistemática e bibliométrica de 121 publicações científicas sobre materiais de cobertura em instalações agropecuárias, abrangendo o período de 1970 a 2024. A revisão sistemática seguiu as diretrizes da Cochrane Library, com buscas nas plataformas Google Acadêmico, *Web of Science* e Periódico CAPES, utilizando 38 termos de busca em português e em inglês. A revisão bibliométrica identificou tendências, autores mais produtivos, instituições de pesquisa, variáveis ambientais e materiais de cobertura mais estudados. Os resultados destacam a predominância de estudos brasileiros, com foco em conforto térmico e em categorias de animais como aves e frangos de corte. A cerâmica e o fibrocimento se destacaram como os materiais mais usados, enquanto estudos apresentaram resultados variáveis e/ou inconclusivos. Conclui-se que há uma necessidade de padronização metodológica em pesquisas futuras, além de ampliar os estudos de materiais sustentáveis e adaptados a diferentes condições climáticas.

Palavras-chave: Conforto térmico; Ambiência animal; Sustentabilidade agropecuária

1. INTRODUÇÃO

A ambiência em instalações agropecuárias desempenha um papel crucial no bem-estar animal, na eficiência produtiva e na sustentabilidade dos sistemas de criação. Dentre os diversos fatores que compõem o ambiente construído, os materiais de cobertura exercem grande influência sobre as condições térmicas internas, afetando diretamente o conforto térmico dos animais. O uso adequado desses materiais é essencial para mitigar os efeitos das variações climáticas, reduzir o estresse térmico e, consequentemente, melhorar os índices zootécnicos e econômicos (BAÊTA & SOUZA, 2010).

Com o avanço das mudanças climáticas e a crescente demanda por sistemas produtivos mais eficientes e ambientalmente sustentáveis, a escolha de materiais construtivos que promovam conforto térmico tornou-se uma prioridade estratégica na pesquisa agropecuária (IPCC, 2021). Nesse contexto, diversos estudos têm se dedicado à avaliação do desempenho térmico de materiais como telhas de fibrocimento, cerâmica, metálicas e opções alternativas e ecológicas, como bambu e telhas recicladas (SILVA et al., 2023; UNILA, 2022; KATO & LIMA, 2020; SEVERO, 2017; JARDIM, 2011; PERALTA, 2006). No entanto, a diversidade de abordagens metodológicas, as variações nas condições experimentais e a ausência de padronização nos indicadores utilizados dificultam a comparação direta entre os resultados (SLOB & KASSAHUN, 2021; GRINDLAY et al., 2012).

Apesar do Brasil ser reconhecido como um dos principais polos de pesquisa na área de ambiência animal, ainda existem lacunas significativas no entendimento do comportamento desses materiais em diferentes zonas climáticas, sistemas de produção e espécies zootécnicas. Essa falta de uniformidade evidencia a necessidade de uma análise mais ampla e sistematizada do conhecimento científico produzido.

Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo realizar uma revisão sistemática e bibliométrica da literatura científica sobre o uso de materiais de cobertura em instalações de produção animal. A aplicação dessas metodologias se justifica por sua capacidade de reunir, organizar e sintetizar, de forma crítica e objetiva, o conhecimento existente sobre determinado tema. A revisão sistemática permite identificar, selecionar e avaliar, de maneira rigorosa, os estudos mais relevantes da área, contribuindo para o mapeamento das evidências científicas disponíveis, apontando convergências, divergências e lacunas de conhecimento. Por sua vez, a revisão bibliométrica possibilita a visualização de tendência temporais, redes de colaboração

entre autores e instituições, além da identificação das fontes e temas mais recorrentes, oferecendo uma visão quantitativa do desenvolvimento da área (DONTHU et al., 2021).

Ao aliar essas suas abordagens, este estudo oferece um panorama abrangente e atualizado do estado-da-arte relacionado aos materiais de cobertura em sistemas de produção animal. Os resultados obtidos contribuem para o direcionamento de futuras pesquisas, o aperfeiçoamento de políticas públicas e o desenvolvimento de tecnologias construtivas mais adequadas às realidades regionais e às exigências de bem-estar animal. A originalidade deste trabalho reside justamente na aplicação combinada dessas metodologias para tratar um tema de alta relevância, mas ainda pouco explorado de forma integrada na literatura científica.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1.Revisão sistemática

A metodologia utilizada para a revisão sistemática é ilustrada pelo fluxograma da Figura 1. A pesquisa documental e a seleção dos estudos seguiram as diretrizes da *Cochrane Library* (HIGGINS & WELCH, 2023). Para a constituição da base de dados foram realizadas pesquisas nas plataformas de busca, Google Acadêmico, *Web of Science* e Periódicos CAPES. Essas plataformas foram escolhidas por abrangerem uma ampla gama de revistas agropecuárias e por possuírem conteúdo relevante ao tema (SLOB & KASSAHUN, 2021; GRINDLAY et al., 2012). Além de artigos científicos, foram considerados artigos de congressos, dissertações e teses.

As buscas foram baseadas em palavras-chave específicas, considerando o tema da pesquisa, como, coberturas, material de cobertura e sombreamento. Foram determinados 38 termos de busca em português e inglês.

Os seguintes critérios de seleção para inclusão no banco de dados foram estabelecidos: as publicações deveriam ser parte de dissertações, teses ou artigos científicos completos e artigos de congressos publicados entre 1970 e 2024, e deveriam apresentar avaliações termoambientais de diferentes tipos de materiais de cobertura, buscando atender o objetivo do presente trabalho. Esse procedimento corrobora com os adotados por diversos autores (SLOB & KASSAHUN, 2021; TULLEY & NICHOLSON, 2020; GRINDLAY et al., 2012). O período de seleção dos artigos, 1970 a 2024, deve-se à crescente preocupação com a ambiência em instalações agropecuárias ao longo das últimas décadas, especialmente no que diz respeito à eficiência térmica, conforto animal e sustentabilidade dos sistemas de produção. A partir da

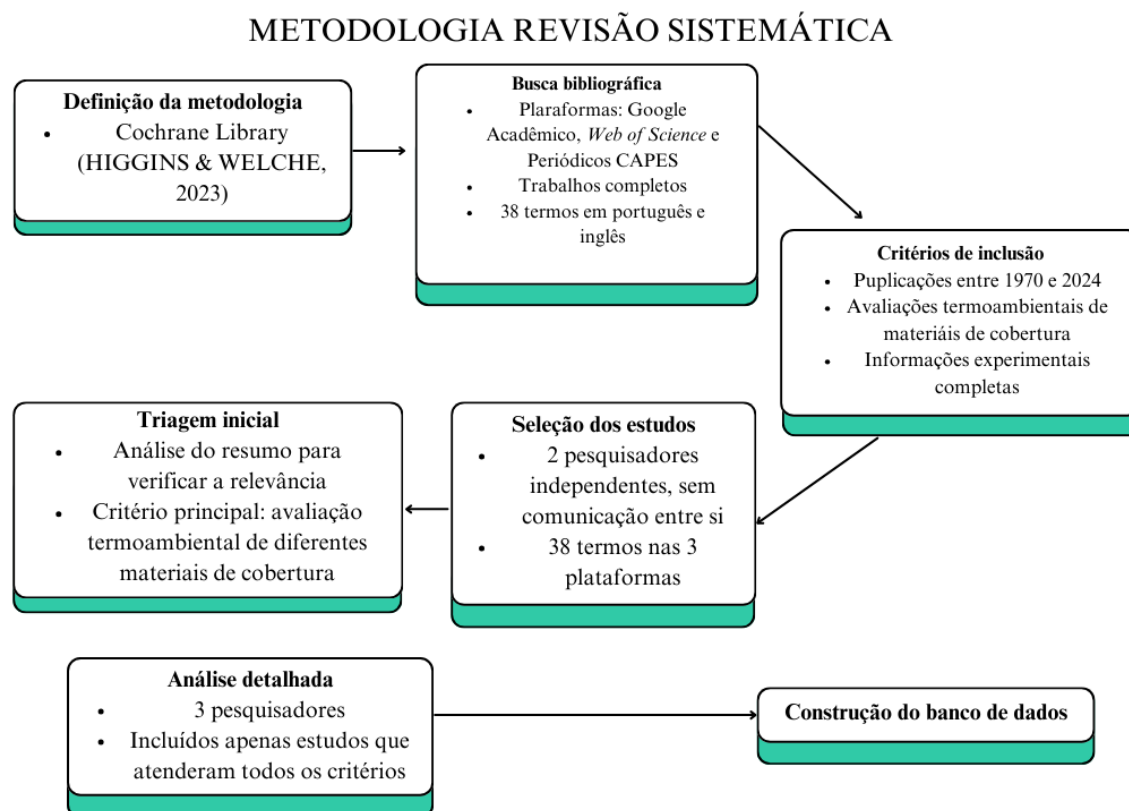
década de 1970, intensificaram-se os estudos voltados à melhoria das condições ambientais em sistemas de criação, impulsionados pelo avanço tecnológico, pelas mudanças climáticas, pela busca por maior eficiência produtiva e pela valorização do bem-estar animal, o que justifica a ampla abrangência temporal adotada nesta revisão (IPCC, 2021; PRISMA, 2020; SEIFERT, 2015; BAÊTA & SOUZA, 2010; BROOM, 2010; FAWC, 2009; HAHN, 1999; ESMAY, 1978; BRAMBELL, 1965).

Dois pesquisadores, seguindo as diretrizes da Cochrane Library (HIGGINS & WELCH, 2023), em locais distintos e sem comunicação entre si, conduziram a seleção para evitar qualquer viés na busca e seleção dos trabalhos. Ambos utilizaram 38 termos de busca (Anexo 1), em cada plataforma de pesquisa.

Cada publicação no banco de dados foi analisada detalhadamente, por três pesquisadores, priorizando o resumo para verificar sua relevância para o trabalho em questão. A presença de avaliações do ambiente de diferentes tipos de materiais de cobertura nos resultados e discussões foram os critérios principais para classificar as publicações, uma vez que, esses são importantes para a execução da revisão bibliométrica. Aquelas publicações que não atendiam aos critérios de avaliação, como ausência de dados e informações sobre as condições experimentais, eram excluídas (COMPTON et al. 2017).

As informações extraídas dos estudos selecionados foram organizadas em um banco de dados, a fim de subsidiar a condução da revisão bibliométrica. Nesse banco foram incluídos apenas os estudos que apresentaram dados quantitativos e avaliações detalhadas do desempenho termoambiental de diferentes materiais de cobertura, conforme os critérios previamente definidos. Essa etapa foi essencial para garantir a qualidade e a consistência dos dados analisados, permitindo identificar tendências, lacunas no conhecimento e direcionamentos relevantes para futuras pesquisas na área.

Figura 1 - Fluxograma da metodologia utilizada na revisão sistemática.



Fonte: Do autor (2025).

2.2.Revisão bibliométrica

A revisão bibliométrica visa examinar, identificar e avaliar tendências, padrões de publicação, impacto e evolução de um campo de estudo ao longo do tempo. Assim, oferece ampla compreensão do estado atual do conhecimento em determinado campo, destacando lacunas, áreas de foco predominantes, mudanças ao longo do tempo e influências em uma área específica de pesquisa (ABRAMO, D'ANGELO & ROSATI, 2015; FALAGAS et al. 2008; PRITCHARD 1969). Essa revisão é realizada por meio da análise de publicação, autores, instituições, citações e outras métricas. Busca oferecer uma compreensão mais ampla sobre o que está sendo amplamente usado, como tendências de pesquisa, métodos, abordagens, teorias, referências, colaborações e redes de pesquisa, em diversas áreas do conhecimento (ABLANEDO-ROSAS et al. 2020; MARTIN-MARTIN, ORDUNA-MALEA & LÓPEZ, 2018).

Neste estudo, foi aplicada uma abordagem de revisão bibliométrica para criar uma nuvem de palavras com base em palavras-chaves. Além disso, foram elaborados gráficos para representar dados como, autores, local de publicação, foco de estudo, animal de estudo, país, estado, região, local e estação de condução do experimento, material de cobertura, período de coleta, horário de coleta, número amostral, variáveis estudadas, orientação, escala e dimensão dos protótipos, sensores usados, análises aplicadas, delineamento experimental usado, teste e nível de significância. Esse processo analítico avalia essas variáveis em cada publicação. Essa metodologia de quantificação foi aplicada de maneira abrangente em todo o banco de dados resultante da revisão sistemática, como realizada em estudos anteriores (ABLANEDO-ROSAS et al. 2020; MARTIN-MARTIN, ORDUNA-MALEA & LÓPEZ, 2018).

Após essa contabilização do banco de dados gerado na revisão sistemática, os resultados foram inseridos na plataforma gratuita WordClouds.com para geração das nuvens de palavras. O Microsoft Excel® foi usado para geração dos demais gráficos.

3. RESULTADO

3.1.Revisão sistemática

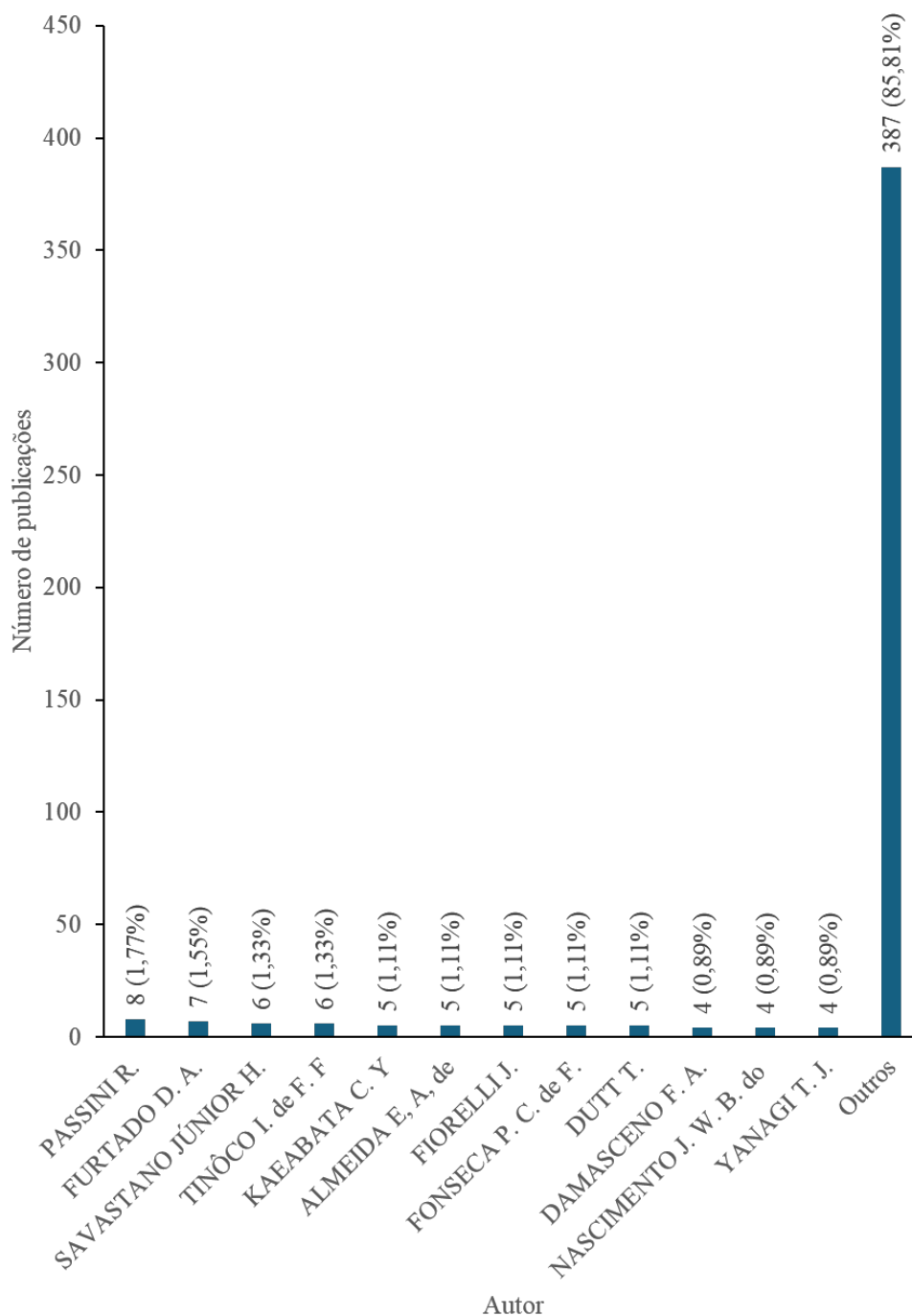
A revisão sistemática resultou na compilação de um banco de dados contendo 121 publicações. Em sua maioria os estudos analisados foram conduzidos no Brasil, apesar de a busca ter incluído artigos internacionais.

3.2.Revisão bibliométrica

Os dados extraídos das publicações incluíram informações sobre autores e coautores, local de realização dos experimentos, anos de publicação, meses e estações do ano em que os estudos foram conduzidos, estados e regiões de desenvolvimento das pesquisas, palavra-chave, período de coleta, horários de coleta, frequência de coleta, materiais de cobertura, análise estatística, entre outros dados. Ademais, foram determinadas as frequências de ocorrência dessas variáveis.

Foram identificados 451 autores e coautores, com uma média de 3,73 autores por publicação, variando de 1 a 10 colaboradores. A Figura 2 destaca os principais autores, sendo, PASSINI R. e FURTADO D. A. com 1,77% e 1,55% das publicações, respectivamente. Por sua vez, SAVASTANO JÚNIOR H., TINÔCO I. de F. F. contribuíram com 6 publicações cada, representando 1,33%.

Figura 2 - Número e percentagem de publicação por autor.

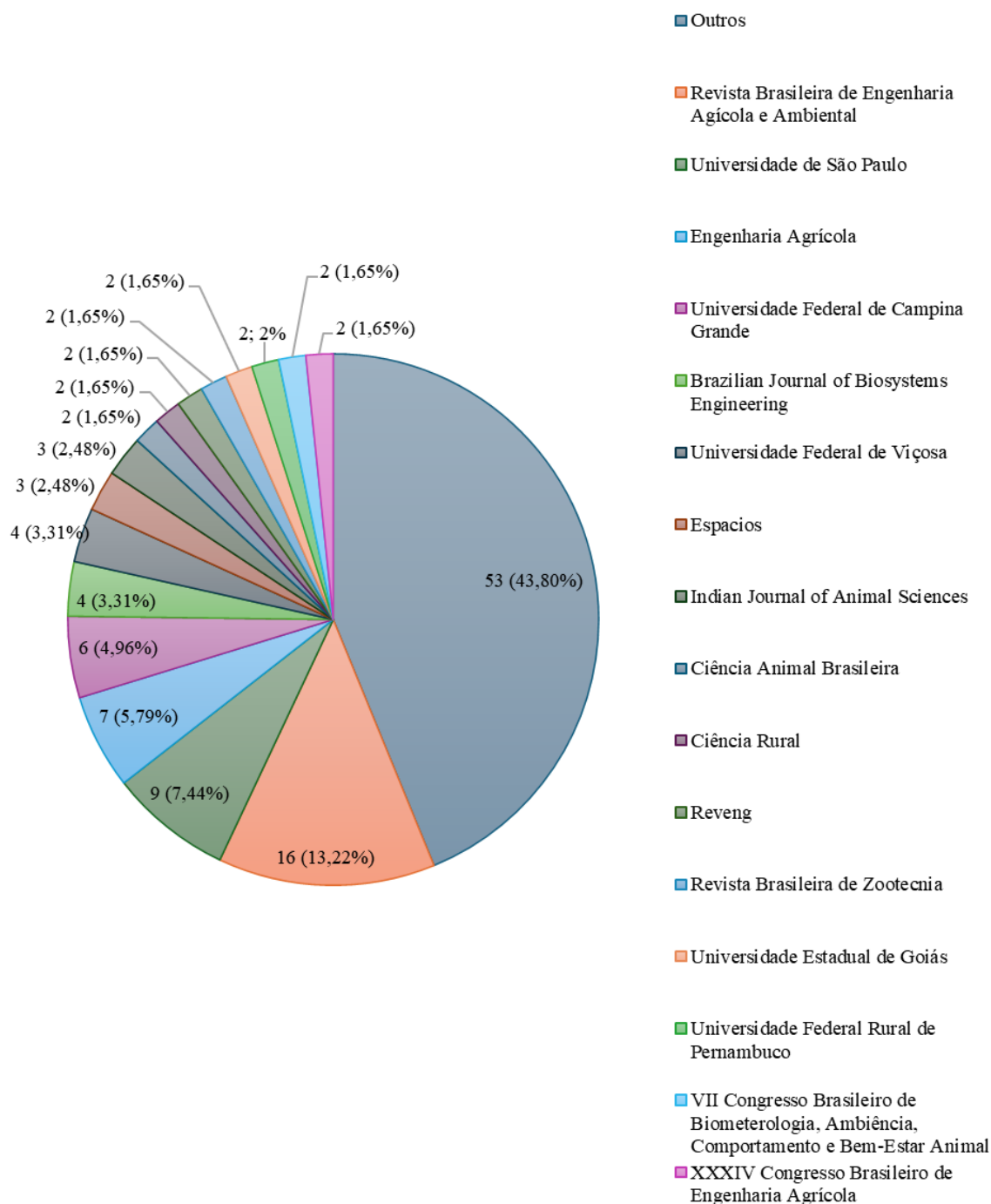


Fonte: Do autor (2025).

Os artigos foram publicados em 68 veículos de publicação (Figura 3). Dentre os veículos

de publicação, destaca-se que um total de 121 publicações, 13,22% foram publicadas na “Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental” e 7,44% na “Universidade de São Paulo” e 5,79% na “Engenharia Agrícola”.

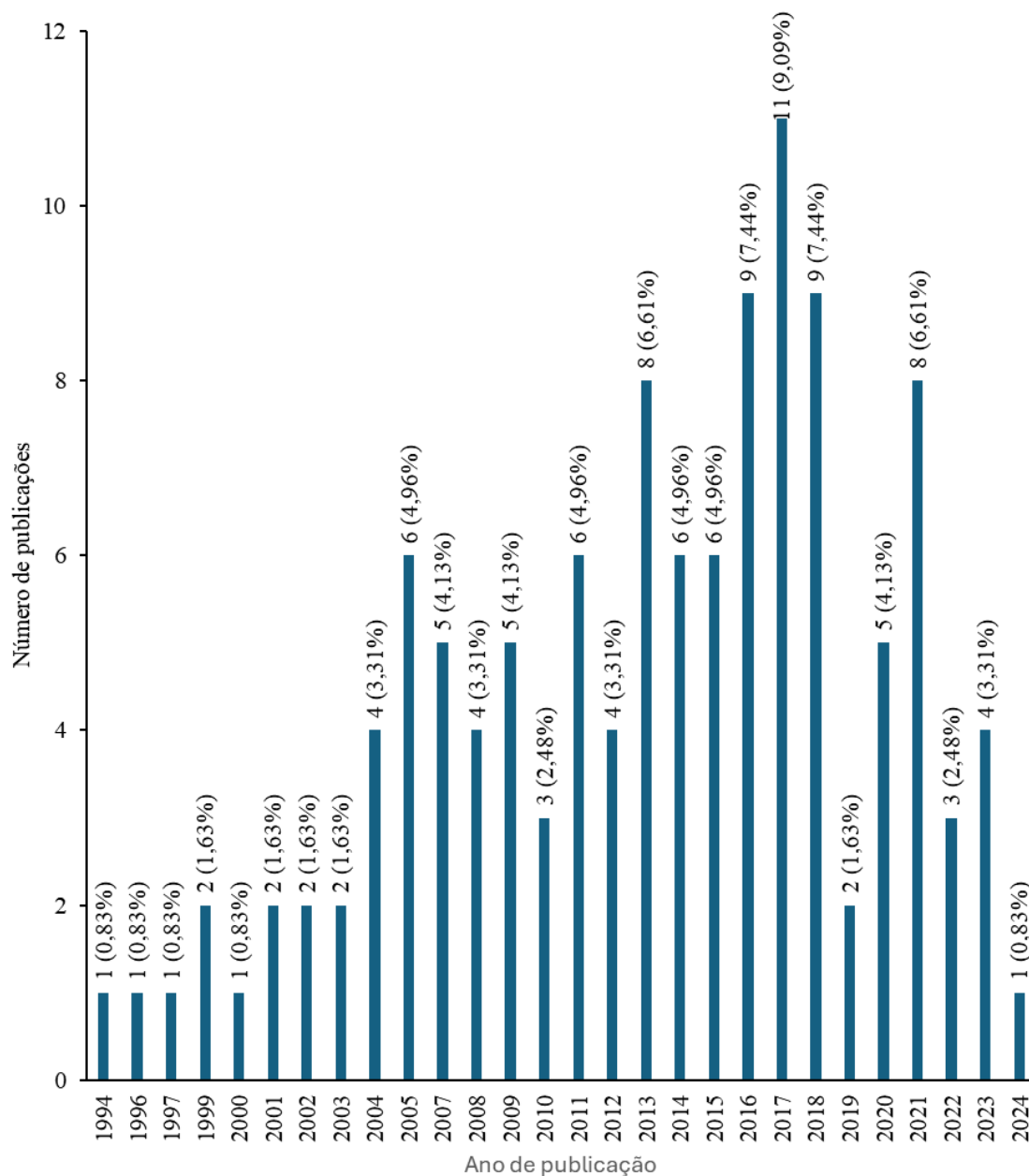
Figura 3 - Número e percentagem de publicações por veículo de publicação.



Fonte: Do autor (2025).

Entre 1970 e 2024 os estudos foram publicados em 28 anos diferentes (Figura 4). As maiores frequências de estudos foram registradas nos anos de 2017 com 11 publicações por ano e, 2016 e 2018 com 9 publicações por ano. A média anual de publicações para os 28 anos foi de 4,32, evidenciando a importância do estudo dos materiais de cobertura ao longo dos anos.

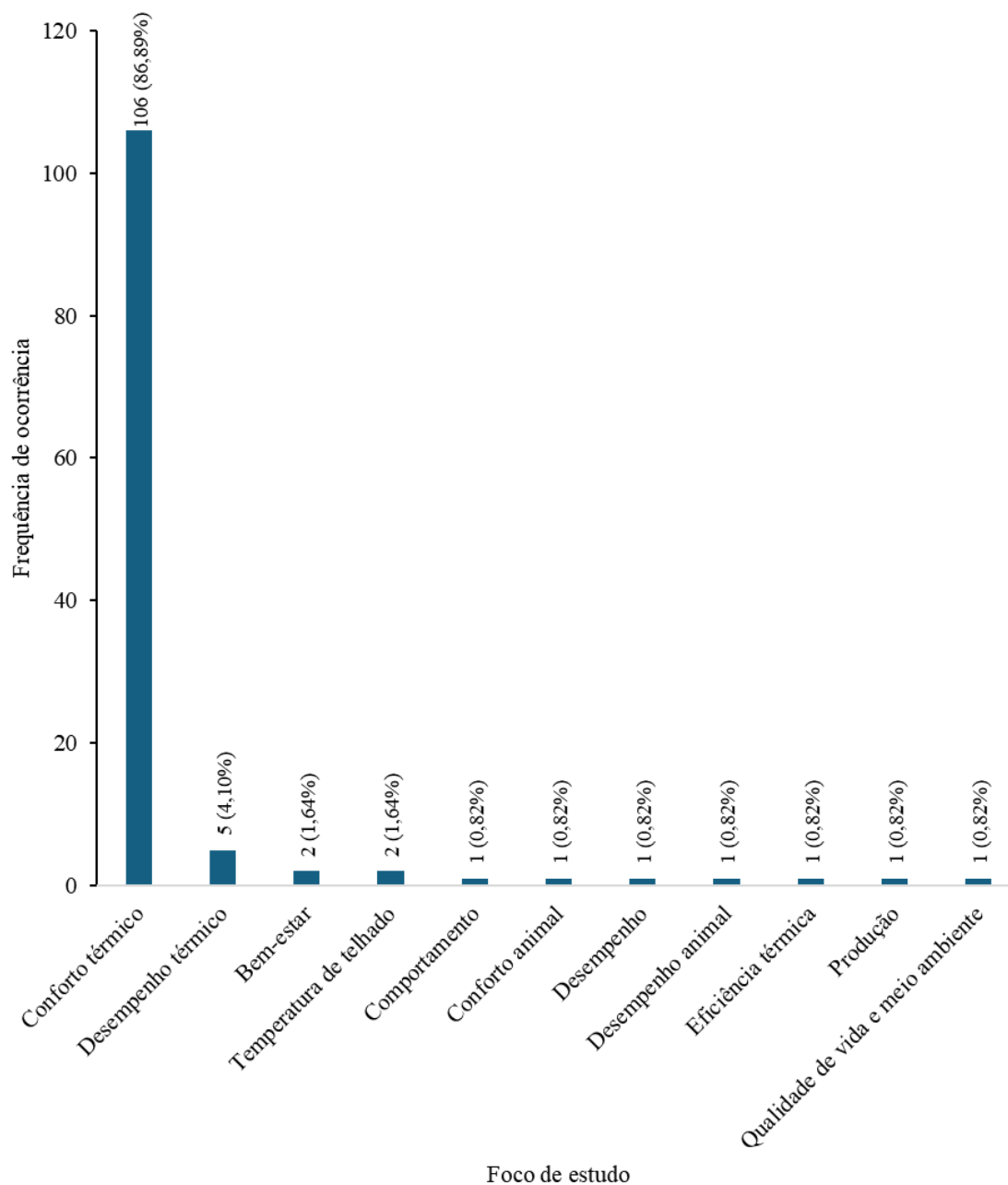
Figura 4 - Número de publicações por ano.



Fonte: Do autor (2025).

Os estudos focaram em 11 temáticas diferentes (Figura 5). Um dos artigos, especificou duas temáticas de interesse, neste caso, foi considerado como referência no cálculo da frequência de ocorrência. Assim, considerou-se como referência o valor total de 122. O interesse evidenciado com mais frequência foi “Conforto térmico” (86,89%). Os demais focos de estudo apresentaram relevância muito inferior à mais frequente.

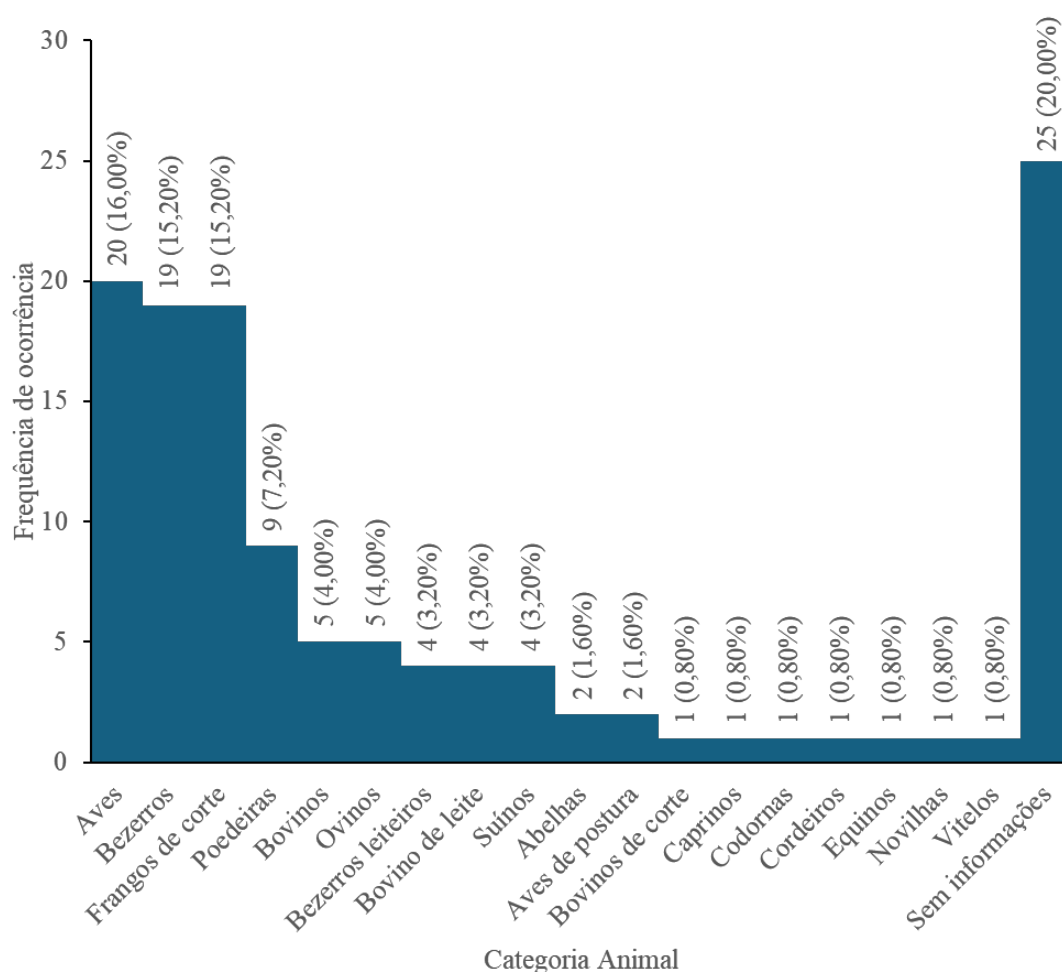
Figura 5 - Número de publicações por temática em estudo.



Fonte: Do autor (2025).

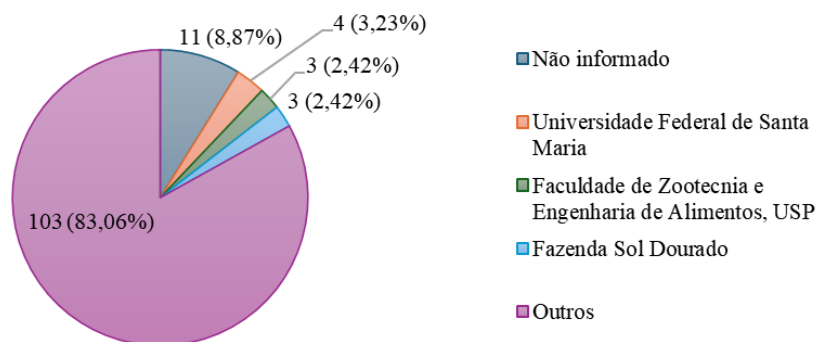
Das 121 publicações analisadas, 4 avaliaram mais de uma espécie animal. Desta forma, para os cálculos de frequência de ocorrência relacionadas às categorias de animais em estudo, adotou-se o total de 125 estudos (Figura 6). Desta forma, 25 (20,00%) dos estudos não foram especificados para qual espécie animal os resultados eram aplicados. Nestes estudos, 18 categorias de animais foram evidenciadas nos estudos. As categorias de animais mais frequentes foram “Aves” (16,00%), “Frangos de corte” e “Bezerros” (15,20% cada).

Figura 6 - Frequência de ocorrência por categoria animal.



Fonte: Do autor (2025).

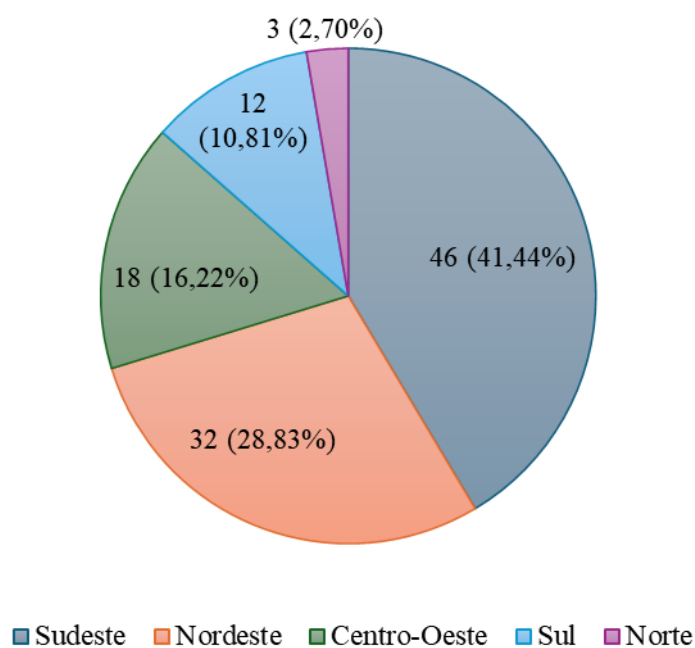
Nestas publicações foram registradas 469 palavras-chave, sendo que destas, 252 eram diferentes. A Figura 7 ilustra as mais frequentes, sendo o “Conforto térmico” (7,25%), “Ambiência” (6,40%) e “Avicultura” (2,99%) as com maior ocorrência. Cada publicação listou de 3 a 10 palavras-chave, sendo que, 8 não listaram nenhuma. Desta forma, observou-se média de 3,88 palavras por publicação.



Fonte: Do autor (2025).

Em relação às 5 regiões brasileiras, as maiores frequências de ocorrência de publicações foram observadas para o Sudeste (41,44%), Nordeste (28,83%) e Centro-Oeste (16,22%). Dois estudos não informaram a região de condução (Figura 9).

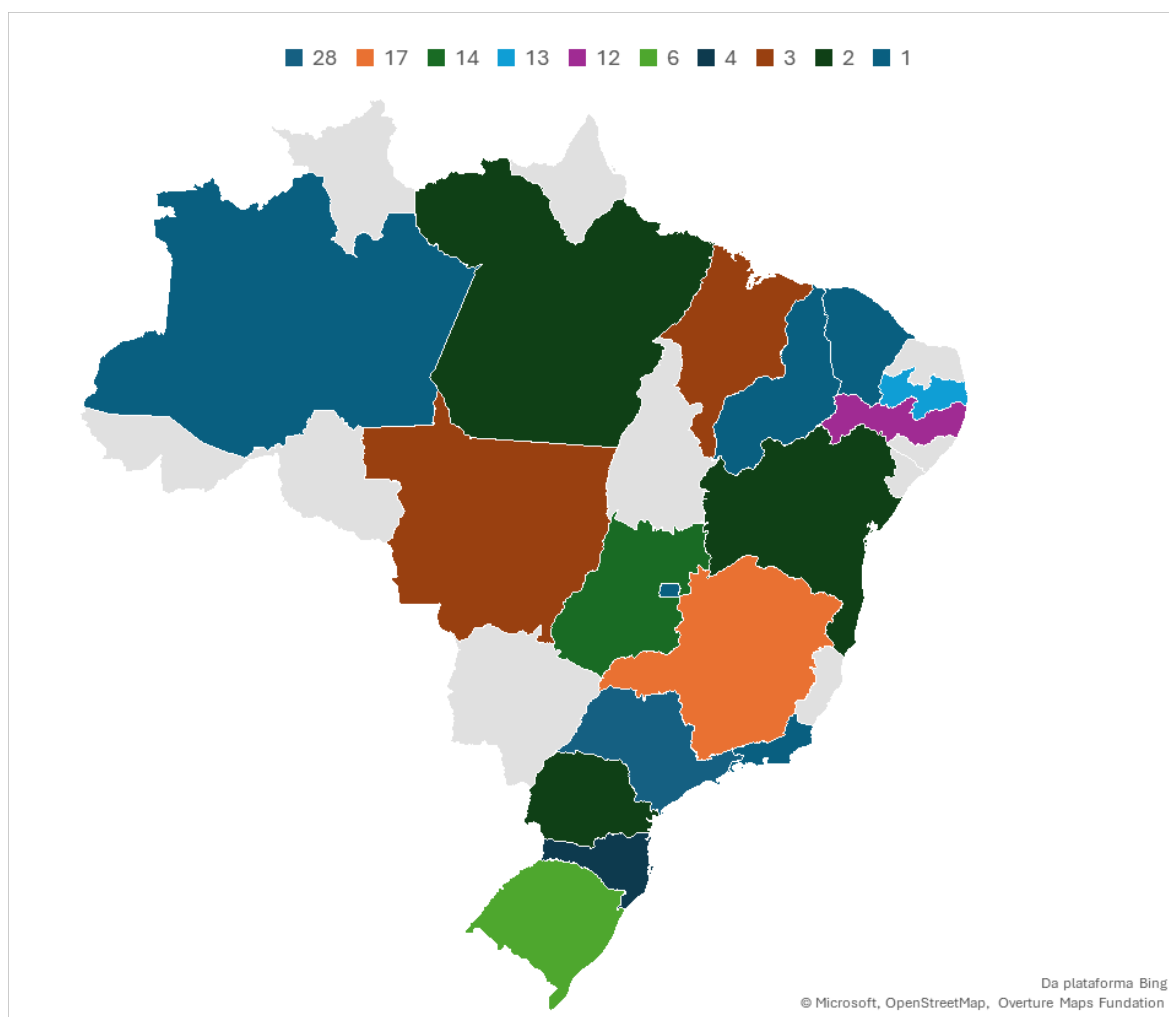
Figura 9 - Número e percentagem de estudos brasileiros por região de estudo.



Fonte: Do autor (2025).

Os estudos realizados no Brasil (111) foram desenvolvidos em 17 estados diferentes (Figura 10). Os mais frequentes foram São Paulo (25,23%), Minas Gerais (15,32%) e Goiás (12,61%).

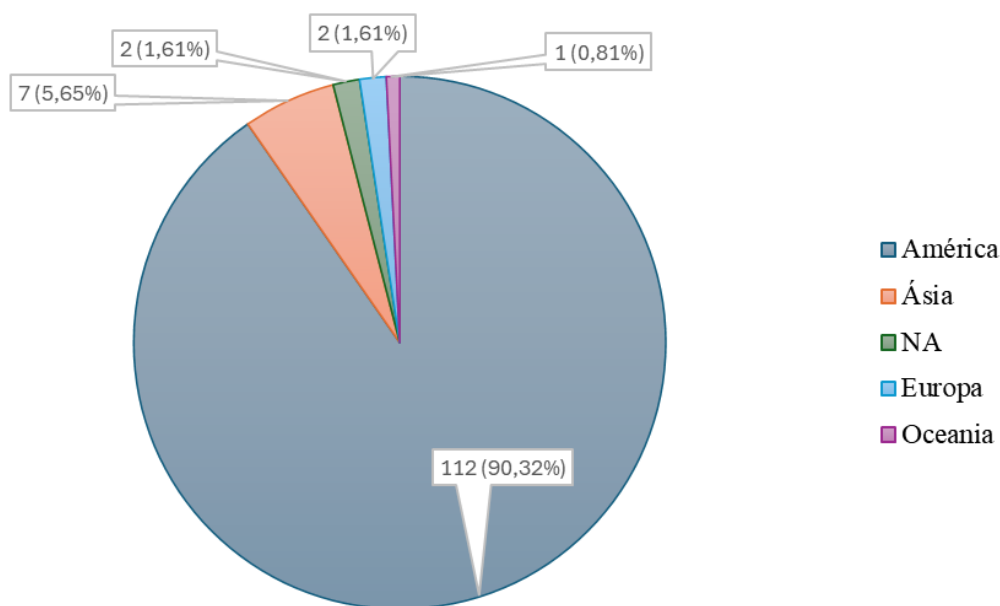
Figura 10 - Número de estudos brasileiros por estado.



Fonte: Do autor (2025).

Os estudos foram realizados em 4 continentes e 2 deles não apresentaram informações que permitissem identificar o continente de realização, sendo que 3 deles foram realizados em mais de um continente. O continente mais frequente foi a América (90,32%) (Figura 11).

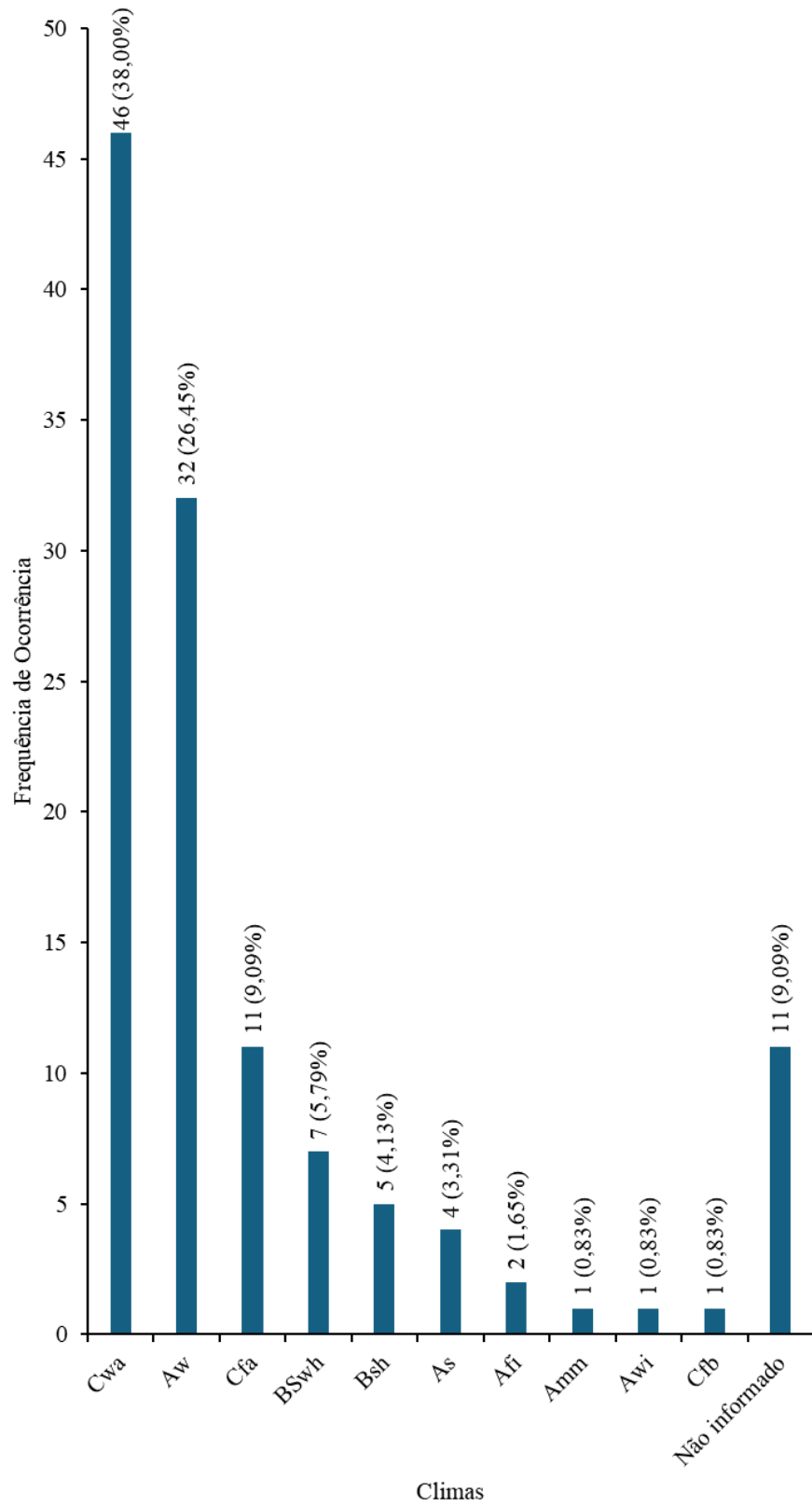
Figura 11 - Número e percentagem de publicações por continente.



Fonte: Do autor (2025).

Como ilustrado na Figura 12, os estudos foram realizados predominantemente em climas classificados como Cwa (38,02%), Aw (26,45%), Cfa (9,09%), de acordo com a classificação de Köppen (1961) (Dubreuli et al., 2018) e 11 estudos não informaram clima de condução.

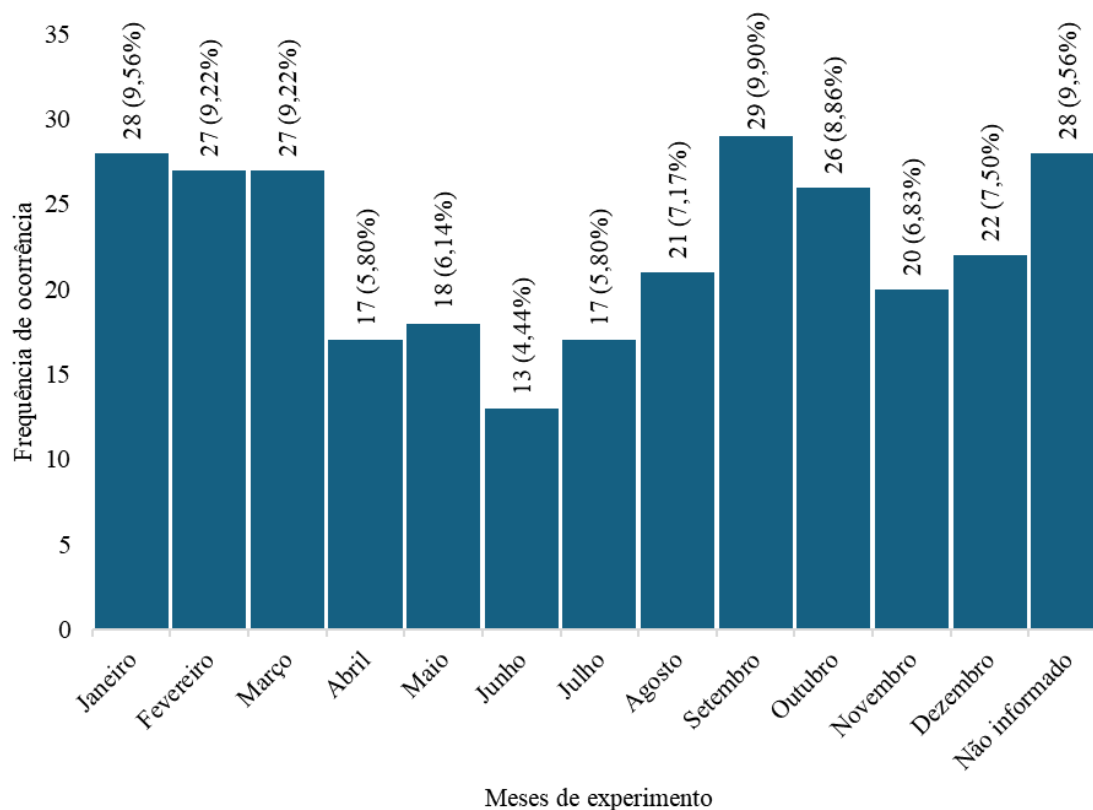
Figura 12 - Número e percentagem de publicações por clima.



Fonte: Do autor (2025).

Os estudos foram conduzidos por 265 meses e 28 publicações não informaram o período de execução. Os mais frequentes foram Setembro (9,90%), Janeiro (9,56%), Fevereiro e Março (9,22% cada), como ilustrado na Figura 13.

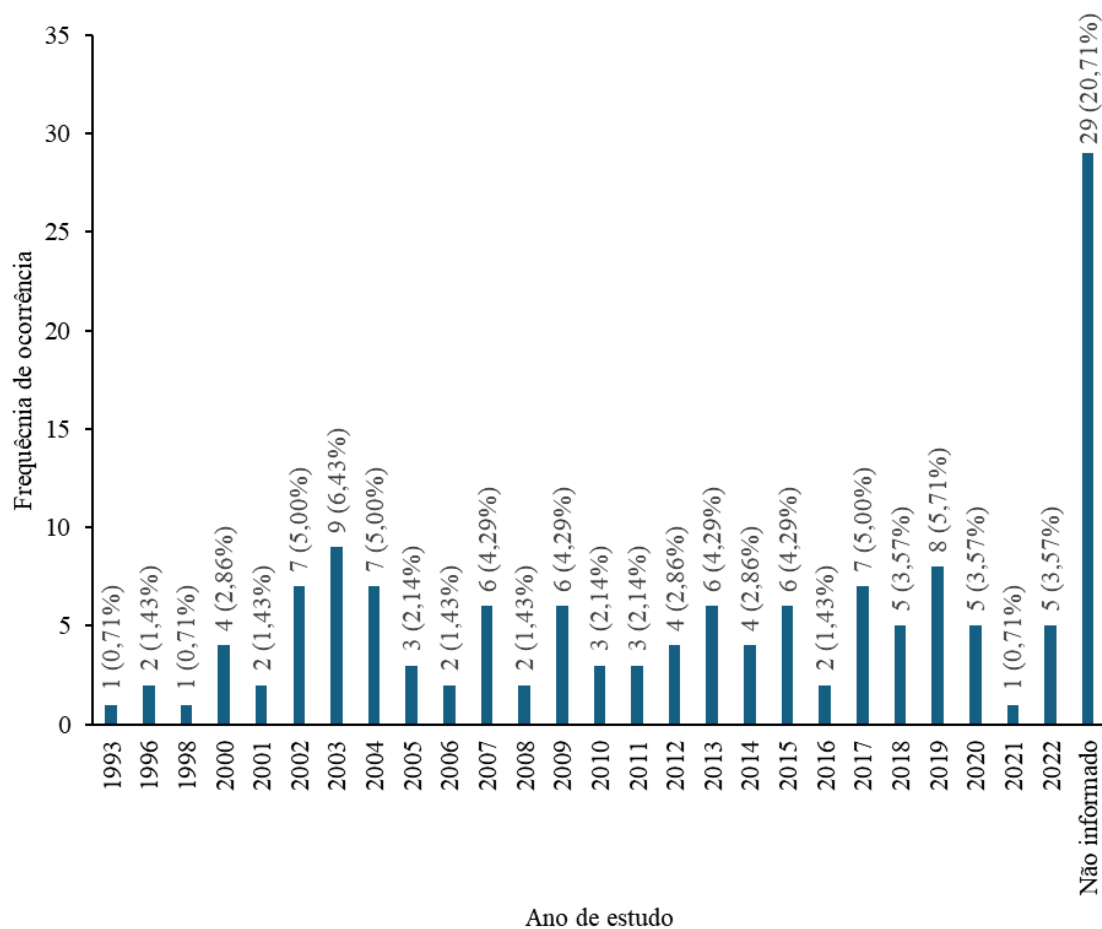
Figura 13 - Frequência de ocorrência por meses de experimento.



Fonte: Do autor (2025).

Os números de estudos por ano de execução dos experimentos são ilustrados na Figura 14. Como 19 estudos foram conduzidos em mais de um ano, o total usado como referência no cálculo das frequências de ocorrência foi 140. Os experimentos foram conduzidos ao longo de 26 anos, sendo os mais frequentes, 2003 (6,43%) e 2019 (5,71%). Vinte e nove estudos não informaram o ano de execução do experimento.

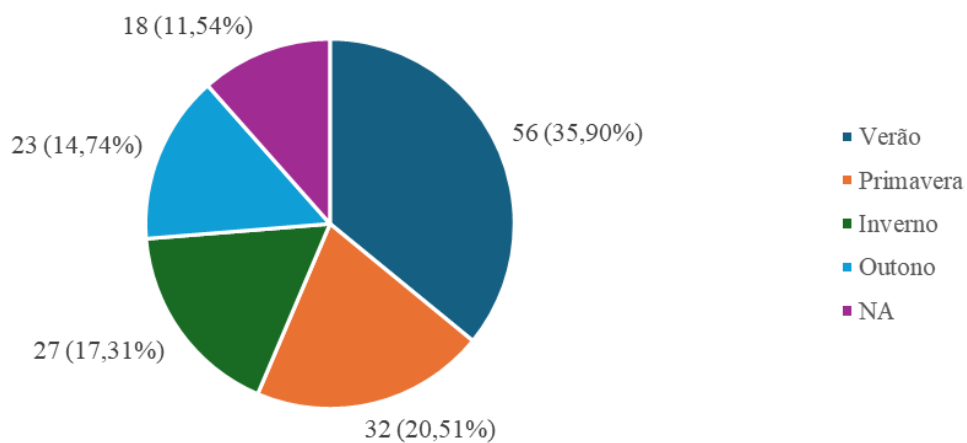
Figura 14 - Frequências de ocorrência por ano de experimento.



Fonte: Do autor (2025).

Os estudos foram realizados predominantemente na estação de Verão (35,90%), seguido por Primavera (20,51%), Inverno (17,31%) e Outono (14,74%). Dezoito estudos não apresentaram dados de estação de condução e 35 deles foram conduzidos em mais de uma estação (Figura 15).

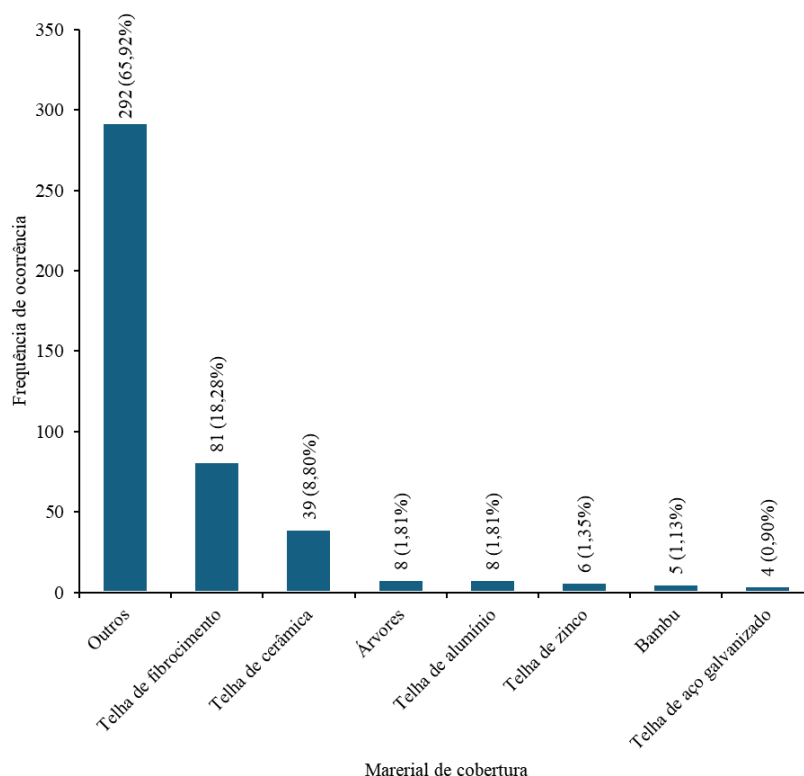
Figura 15 - Número e percentagem de estudos por estação do ano.



Fonte: Do autor (2025).

Os estudos analisaram 263 materiais de cobertura distintos, sendo que, os mais frequentes foram “Fibrocimento” (18,28%) e “Cerâmica” (8,80%), conforme ilustrado na Figura 16.

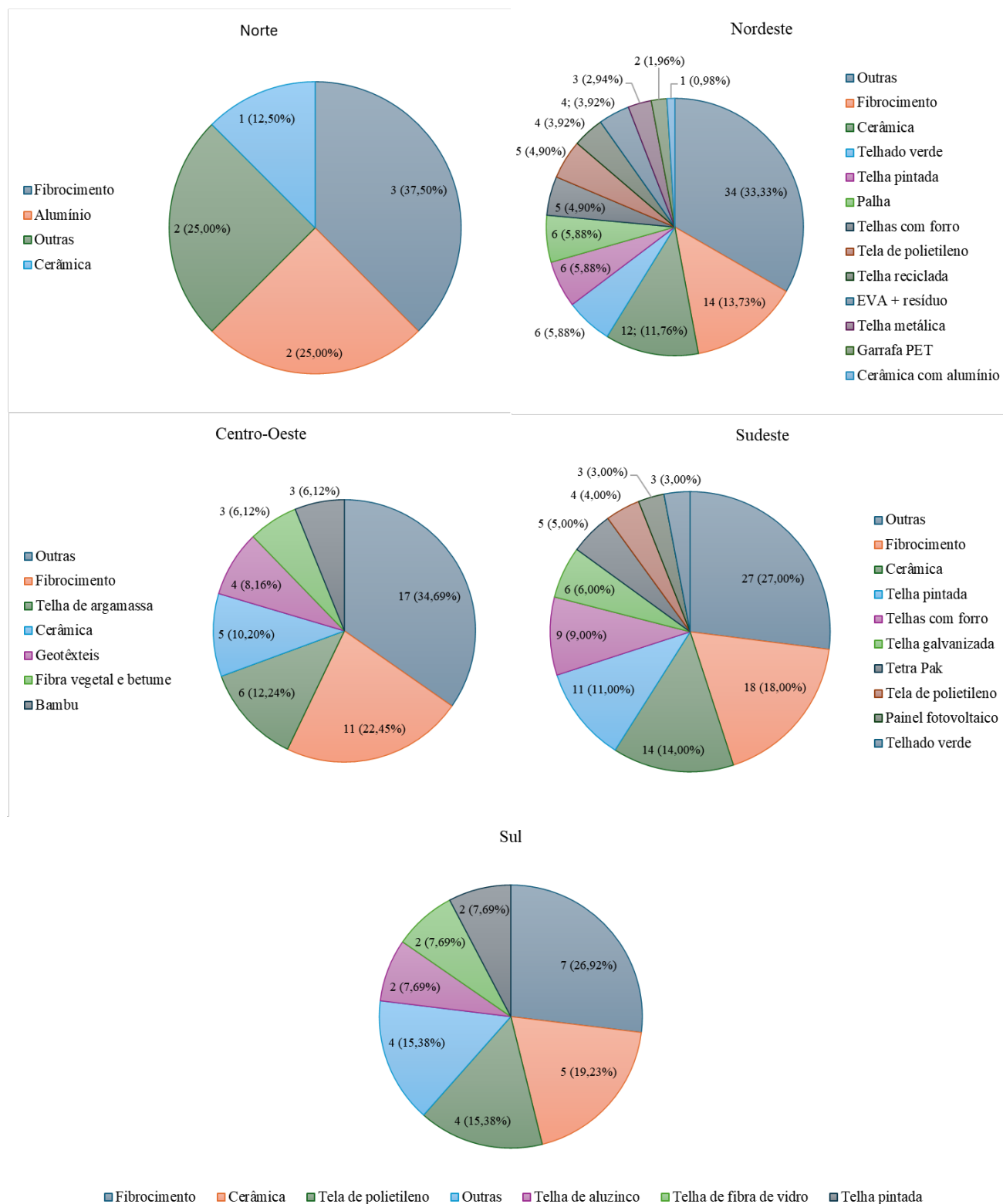
Figura 16 - Frequência de ocorrência por material de cobertura.



Fonte: Do autor (2025).

A análise da distribuição regional dos materiais de cobertura revelou padrões distintos de utilização conforme a região do país. Na região Norte, verificou-se o uso limitado a poucos tipos de cobertura, sendo o fibrocimento o mais comum. Na região Nordeste observou-se a maior variedade e número de coberturas registradas. Observou-se também, a presença significativa de soluções alternativas e sustentáveis, além de uma grande concentração na categoria “Outras”, indicando ampla heterogeneidade de materiais empregados. Na região Centro-Oeste, verificou-se a predominância do fibrocimento, além de refletir a adoção de materiais convencionais e alternativos. Na região Sudeste evidenciou-se a grande utilização dos materiais fibrocimento e cerâmica, além de outras soluções como telhas associadas a forro e telhas pintadas, assim como materiais mais tecnológicos como o painel fotovoltaico. A variedade de materiais e a presença de coberturas sustentáveis e industriais caracterizam essa região como diversificada e com maior acesso a tecnologias. A região Sul destacou o fibrocimento e cerâmica. A presença de outras coberturas sugere uma tendência à utilização de materiais convencionais, com pequenas inserções de coberturas alternativas (Figura 17).

Figura 17 – Uso de materiais de cobertura por região



Fonte: Do autor (2025).

Em 65 dos 121 estudos (53,72%), os materiais de cobertura não foram conjugados com algum adicional de cobertura. Por outro lado, os adicionais de cobertura de uso mais frequentes

foram a “Pintura branca” (21, 17,36%), seguido por “Lona” (4, 3,31%). Os adicionais de cobertura “Forro”, “Forro de polietileno”, “Forro de Tetra Pak®” e “Pintura de cal” foram observados em 3 estudos cada (2,48%).

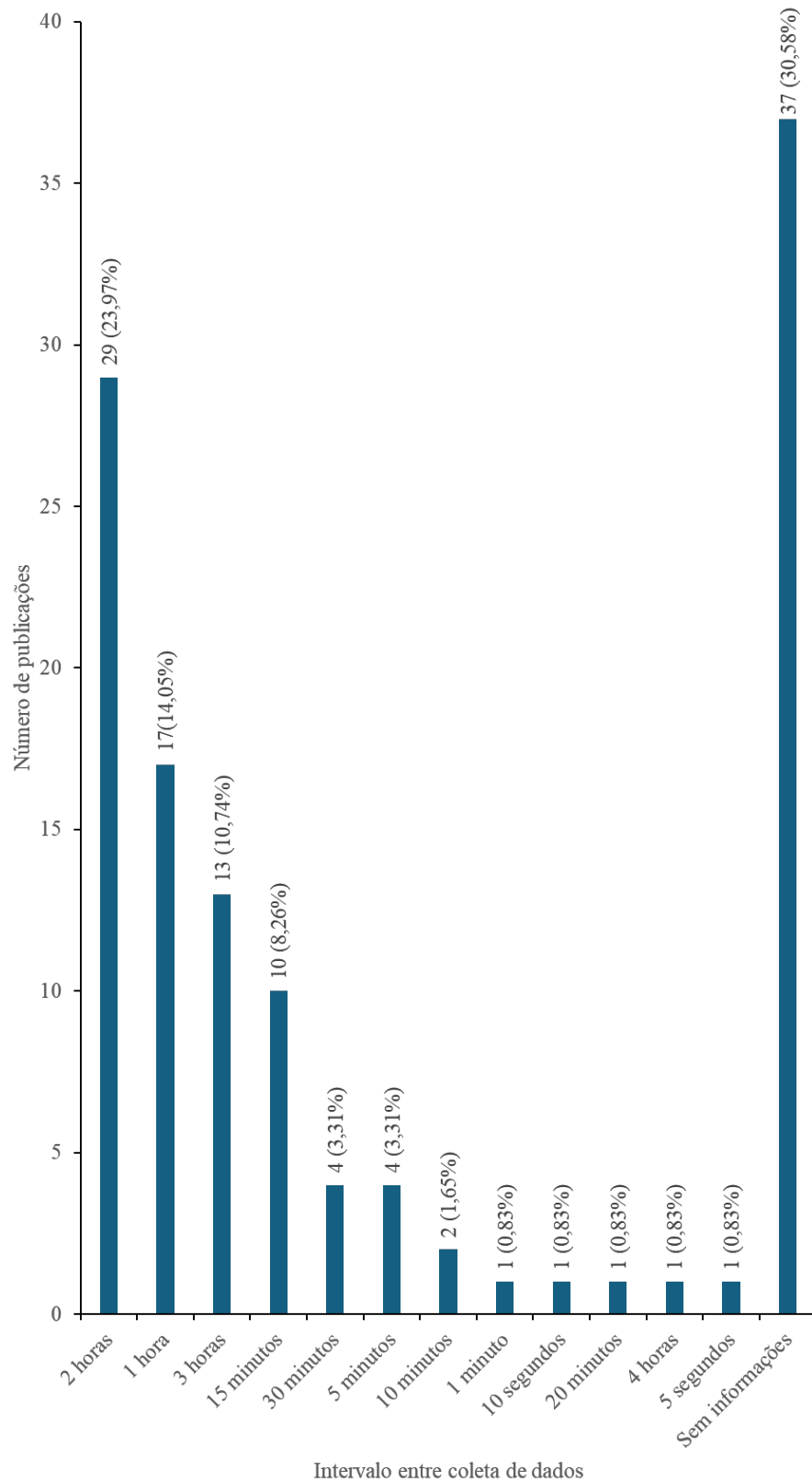
Oitenta e quatro estudos não utilizaram algum material de cobertura sustentável (69,42%). Daqueles que utilizaram, destacam-se o “Bambu” (4, 3,31%), seguido de “Palha de coqueiro”, “Telha reciclada de Tetra Pak®” e “Telhado de palha” (3 cada, representando 2,25%).

Os períodos experimentais mais frequentes foram 10 dias (10, 8,20%), 15 dias (6, 4,92%) e 60 dias (5, 4,10%). Trinta estudos não informaram o período experimental e em um dos estudos foram utilizados dois períodos experimentais distintos. Em 19 estudos o período experimental ocorreu em dias consecutivos, sendo que, em 7 estudos foram divididos em dois períodos. Em outros 7, os experimentos foram conduzidos em dias não consecutivos. Setenta e nove estudos não especificaram detalhes sobre o período experimental.

Os intervalos de coleta variam de poucos segundos (5s) até de 12 em 12h. Assim, foram observados 1.569 horários distintos ao longo dos dias de coleta de dados, num total de 5.494 horários. Vinte um estudos não informaram os horários de coleta.

Doze intervalos de coleta de dados foram observados. Os intervalos de coleta de dados mais frequentes foram de 2 horas (23,97%), 1 hora (14,05%) e 3 horas (10,74%), respectivamente. Trinta e sete estudos não informaram a frequência de coleta dos dados (Figura 18).

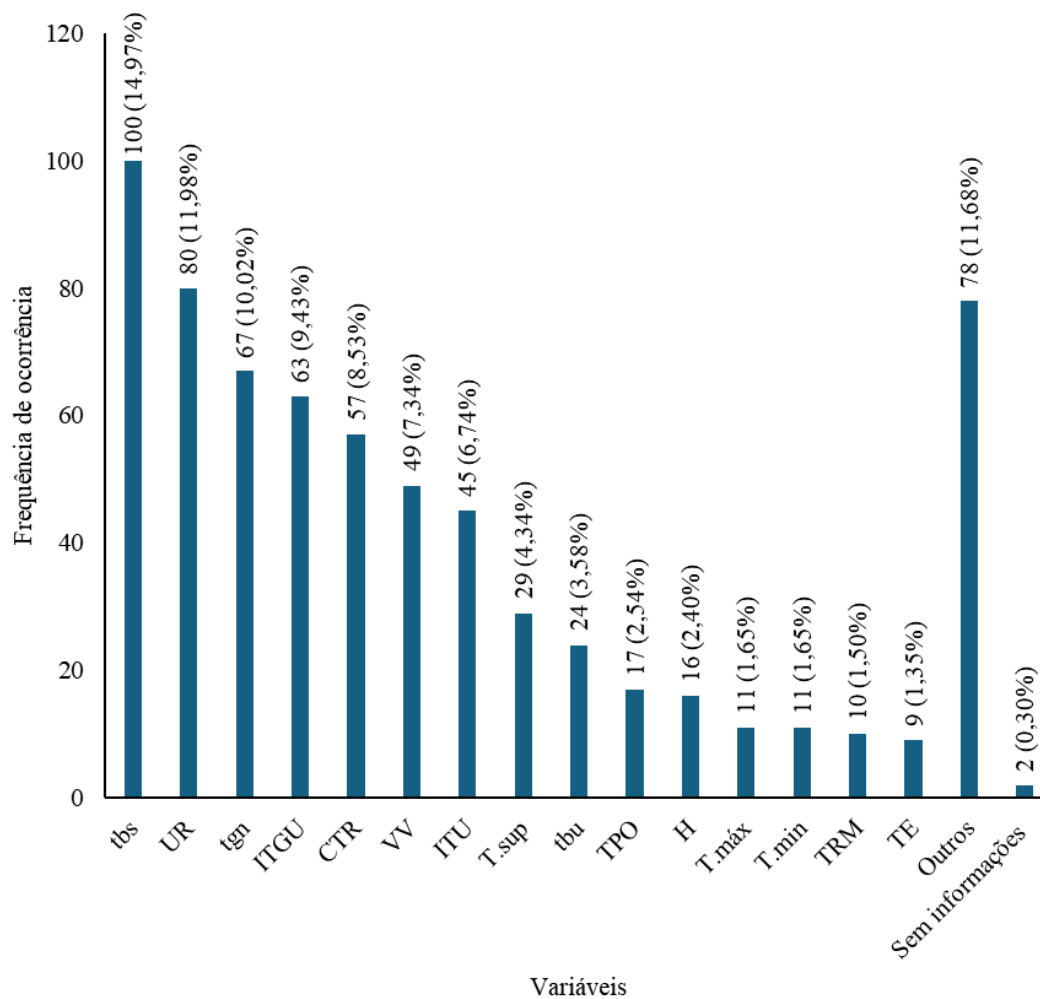
Figura 18 - Frequências de ocorrência do intervalo entre coleta de dados.



Fonte: Do autor (2025).

Foram coletadas e ou determinadas 47 variáveis ou índices distintos, totalizando 657. Dois estudos não informaram quais variáveis foram utilizadas. Como ilustrado na Figura 19, as variáveis mais frequentes foram, “Temperatura de bulbo seco – t_{bs} ” (14,97%), “Umidade relativa – UR” (11,98%) e “Temperatura de globo negro – t_{gn} ” (10,02%).

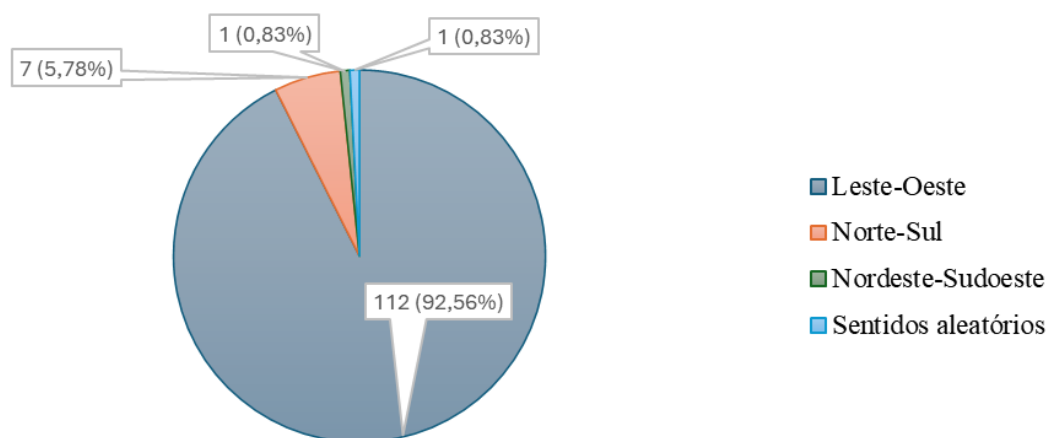
Figura 19 - Frequências de ocorrência por variáveis medidas e ou analisadas.



Fonte: Do autor (2025).

O sentido de orientação mais frequente foi o “Leste-Oeste” (92,56%), conforme ilustrado na Figura 20.

Figura 20 - Frequências de ocorrência das orientações geográficas das coberturas das instalações.

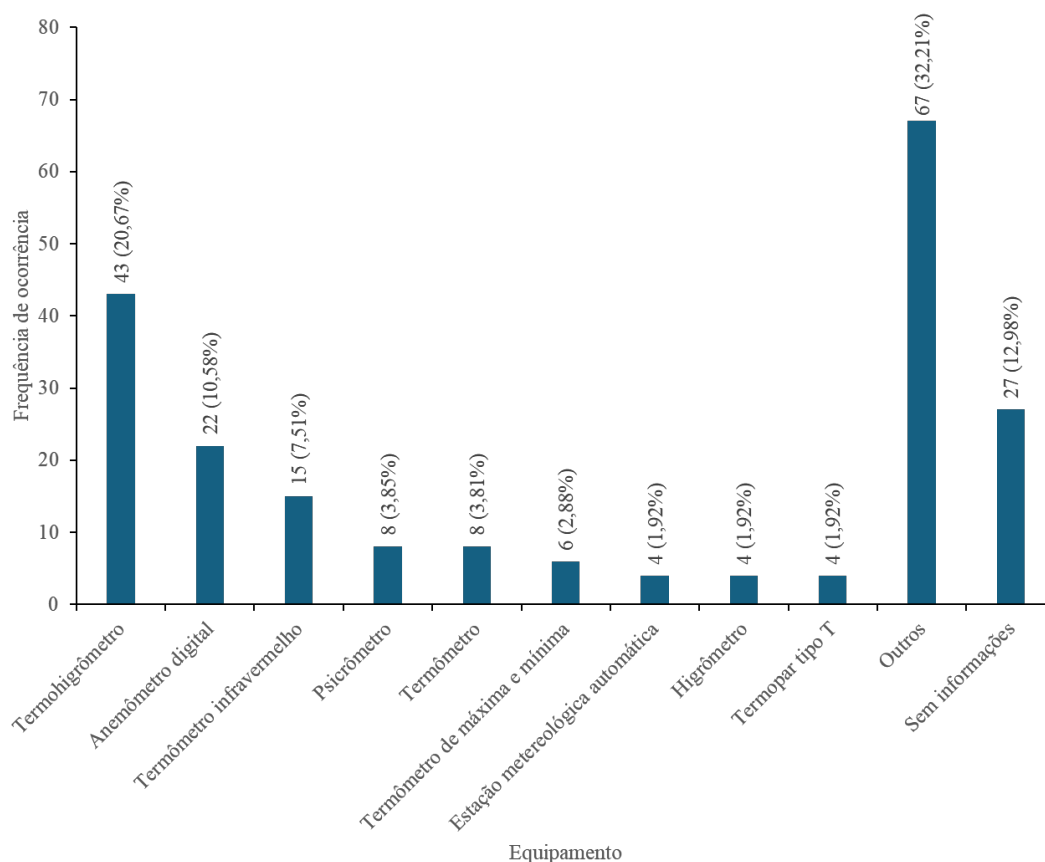


Fonte: Do autor (2025).

Dos estudos analisados, 99 (77,95%) utilizaram escala natural para os protótipos, sendo que, 3 utilizaram duas escalas diferentes. Daqueles que usaram escala reduzida, 15 consideraram a escala 1:10 e 4 a escala de 1:2. Oito estudos utilizaram outras escalas e 1 não informou a escala reduzida utilizada.

Como ilustrado na Figura 21, o equipamento de medição mais utilizado foi o “Termohigrômetro” (20,67%), “Anemômetro digital” (10,58%) e “Termômetro infravermelho” (7,51%). Das 121 publicações 27 não informaram o sensor utilizado para a coleta de dados. A média de sensores por publicação foi de 1,72.

Figura 21 - Frequência de ocorrência por sensor.



Fonte: Do autor (2025).

As alturas dos sensores em relação à superfície mais frequentes foram: 1,5 m (12), 3 cm e 30 cm (6 cada) e 80 cm (5). Essas alturas estão relacionadas às categorias de animais estudados. A altura de 1,5 m é utilizada para bovinos em protótipos em escala natural. A altura de 3 cm e 30 cm foram usadas para aves em modelos físicos construídos em escala de 1:10 e em escala natural (1:1), respectivamente. Por sua vez, a altura de 80 cm para protótipos em escala natural para bezerros. Sessenta e cinco estudos não informaram a altura que os sensores foram posicionados, sendo que, 31 deles posicionaram os sensores em mais de uma altura, para que pudessem ser avaliados o ambiente para mais de uma categoria de animal, como ocorreu em publicações que avaliaram ao mesmo tempo o ambiente para aves e bovinos.

O melhor material de cobertura foi a cerâmica (14), seguido por fibrocimento (8) e fibrocimento pintado de branco (5), e 40 estudos tiveram resultado variável ou inconclusivo sobre o melhor material de cobertura.

4. DISCUSSÃO

4.1.Revisão sistemática

A revisão sistemática resultou na compilação de um banco de dados contendo 121 publicações, das quais a maioria foi realizada no Brasil, ainda que a busca tenha incluído artigos internacionais. Esse predomínio evidencia o papel de destaque do país nas pesquisas relacionadas ao ambiente construído para a criação animal, especialmente no que se refere à cobertura de instalações. Tal protagonismo pode ser atribuído às condições climáticas tropicais predominantes, que impõem desafios constantes à manutenção de ambientes internos termicamente adequados, sobretudo em sistemas de produção intensiva (BAÊTA & SOUZA, 2010; IPCC, 2021).

O território brasileiro, marcado por ampla extensão e diversidade climática, demanda soluções específicas para diferentes contextos regionais, o que reforça a necessidade de adequações estruturais capazes de garantir o bem-estar e a saúde dos animais. Nesse cenário, a escolha de materiais com bom desempenho térmico torna-se essencial para proporcionar ambientes mais estáveis e confortáveis, favorecendo o desempenho zootécnico e reduzindo perdas produtivas (SILVA et al., 2023; UNILA, 2022).

A crescente demanda por carne e outros produtos de origem animal tem impulsionado a intensificação da pecuária nacional, o que, por sua vez, estimula a busca por tecnologias sustentáveis e economicamente viáveis. A cobertura das instalações desempenha um papel estratégico nesse processo, não apenas por sua influência direta sobre a temperatura interna, mas também por seu impacto na eficiência energética e na sustentabilidade do sistema como um todo. Considerar as particularidades regionais no desenvolvimento de soluções construtivas é, portanto, uma exigência para garantir sistemas produtivos mais resilientes (SEVERO, 2017; JARDIM, 2011; PERALTA, 2006).

Além disso, a valorização crescente do bem-estar animal e da sustentabilidade tem fomentado inovações no uso de materiais alternativos e técnicas construtivas que atendam simultaneamente aos critérios de conforto, viabilidade econômica e responsabilidade ambiental. Conforme apontado por Silva et al. (2011) e Moraes et al. (2017), a ambiência, entendida como o conjunto de fatores ambientais que influenciam o local de criação, exerce influência direta sobre o desempenho produtivo e a viabilidade das atividades pecuárias.

Dessa forma, os dados obtidos pela revisão sistemática não apenas confirmam a importância do Brasil nas investigações sobre ambientes de produção adaptados às suas condições climáticas, como também destacam a urgência em se desenvolver abordagens integradas que aliem conforto térmico, produtividade e sustentabilidade.

4.2.Revisão bibliométrica

Os dados extraídos das publicações analisadas abrangeram uma ampla variedade de informações, incluindo autoria, local e período de realização dos experimentos, estratégias metodológicas e variáveis avaliadas. A diversidade dessas informações proporcionou uma visão abrangente da produção científica sobre materiais de cobertura e ambiência animal, permitindo identificar tendências, padrões e áreas de concentração das pesquisas.

Com relação à autoria, foram identificados 451 autores e coautores, com uma média de 3,7 autores por publicação, variando de 1 a 10 colaboradores por estudo. Esse alto número de colaboradores por estudo destaca a natureza colaborativa e multidisciplinar da pesquisa na área, envolvendo engenheiros, estatísticos, fisiologistas e zootecnistas. Esse perfil multidisciplinar é essencial para abordar a complexidade das condições ambientais que afetam o conforto térmico e o bem-estar animal (OLIVEIRA et al., 2019; SILVA et al., 2018; NÄÄS et al., 2017; PANDORFI et al., 2007).

A presença recorrente de alguns autores e grupos de pesquisa consolida o papel de determinados centros de excelência no desenvolvimento de estudos voltados para a ambiência e a melhoria das condições de produção. A identificação desses pesquisadores não só reafirma sua liderança na área, como também abre caminho para futuras colaborações interinstitucionais, promovendo o avanço contínuo do conhecimento (TINÔCO et al., 2022; SOUZA et al., 2021).

As publicações analisadas foram veiculadas em 68 diferentes veículos de comunicação, evidenciando a diversidade de canais utilizados para a disseminação do conhecimento científico na área de ambiência e materiais de cobertura.

Esse resultado reflete a predominância de periódicos especializados em engenharia aplicada à agropecuária, indicando o caráter técnico-científico das pesquisas voltadas à avaliação de materiais de cobertura, conforto térmico e desempenho de instalações. A presença significativa de instituições acadêmicas como locais de publicação também evidencia o papel central das universidades na produção e divulgação do conhecimento, destacando a importância do ambiente universitário como espaço de pesquisa, inovação e formação de profissionais

capacitados. As universidades, com sua infraestrutura de pesquisa e acesso a dados experimentais, desempenham um papel fundamental no avanço do conhecimento científico, refletindo a importância da academia no desenvolvimento de soluções para desafios enfrentados pelos sistemas produtivos no Brasil e no mundo (FERREIRA et al., 2021; ABREU & SANTOS, 2020; SANTOS et al., 2022; SOUZA et al., 2020; ZANETTI et al., 2020; VIEIRA & CARVALHO, 2019).

No período de 1970 a 2024, os estudos compilados foram publicados em 28 anos distintos, revelando uma distribuição temporal relativamente ampla da produção científica voltada à avaliação de materiais de cobertura. As maiores concentrações de estudos foram registradas nos anos de 2017 com 11 publicações e, em 2016 e 2018 com 9 publicações cada. Esse pico de publicações sugere um aumento pontual no interesse pelo tema nesses períodos, o que pode estar associado a fatores como a crescente preocupação com os impactos das mudanças climáticas sobre as condições de bem-estar animal e a busca por maior eficiência térmica nas instalações zootécnicas.

Esses dados indicam que, embora o tema de materiais de cobertura tenha sido abordado por várias décadas, houve uma intensificação na produção científica nos últimos anos. Fatores como as mudanças climáticas, a demanda por maior eficiência térmica nas instalações zootécnicas e a crescente necessidade por sistemas produtivos mais sustentáveis podem ter impulsionado esse aumento. A regularidade da produção científica, especialmente a concentração de publicações nos últimos anos, demonstra que o estudo dos materiais de cobertura se consolidou como um tema relevante e recorrente no campo da ambiência, refletindo sua importância para a promoção do bem-estar animal e a melhoria do desempenho produtivo em diferentes sistemas de criação (COSTAS et al., 2022; WORLD BANK, 2022; MOURA et al., 2021).

Os estudos analisados abordaram 11 temáticas de estudo distintas relacionados à utilização de materiais de cobertura, evidenciando a diversidade de abordagens dentro da temática de ambiência.

A predominância da temática em conforto térmico reflete a centralidade desse aspecto nas pesquisas relacionadas aos materiais de cobertura. O conforto térmico é crucial, pois influencia diretamente o bem-estar animal, a eficiência produtiva e a sustentabilidade dos sistemas de criação. A ênfase no conforto térmico também destaca a crescente preocupação da comunidade científica com os efeitos das variações ambientais sobre os animais, especialmente

em regiões tropicais e subtropicais, onde as condições climáticas extremas impõem desafios significativos à manutenção da homeostase térmica. A necessidade de mitigar os efeitos térmicos adversos tem se intensificado, refletindo a importância de se desenvolver soluções que melhorem as condições ambientais das instalações, otimizando os resultados zootécnicos e promovendo sistemas mais resilientes e adaptados às demandas contemporâneas da produção animal (BAÊTA et al., 2022; TINÔCO, 2022).

A revisão identificou que os estudos contemplaram 18 diferentes categorias animais, refletindo a abrangência das aplicações dos materiais de cobertura em distintos sistemas de criação. Contudo, 25 publicações não informaram claramente a categoria animal, o que dificulta uma análise mais precisa da relação entre espécie e as condições ambientais avaliadas.

A predominância de estudos voltados para aves, frangos de corte e bezerros indica o crescente interesse da comunidade científica em estratégias de ambiência aplicadas, principalmente, em sistemas intensivos de produção, como a avicultura e a bovinocultura de leite. Nesses sistemas, o controle ambiental é determinante para garantir o conforto térmico, a sanidade e o desempenho produtivo, o que justifica a categoria animal das pesquisas nesse segmento. Além disso, aves e bezerros são particularmente sensíveis às variações térmicas, o que torna o uso adequado de materiais de cobertura essencial para a mitigação de estresses ambientais e a promoção do bem-estar animal. Esses achados destacam a importância de adaptar as soluções de ambiência às especificidades de cada espécie, levando em consideração suas exigências fisiológicas e os objetivos produtivos de cada sistema (PANDORFI et al., 2023; MOURA et al., 2022; NÄÄS et al., 2022).

A predominância das palavras-chave como conforto térmico, ambiência e avicultura reforça o foco das pesquisas na melhoria do ambiente térmico em sistemas produtivos, com destaque para o setor avícola, que se mostra particularmente sensível às variações ambientais (ROSSI et al., 2023; SILVA, 2022; ASABE, 2021).

Em relação à distribuição geográfica das pesquisas, observou-se que os estudos foram realizados em oito países, com sete publicações sem informações sobre o local de execução. O Brasil se destacou amplamente, sendo responsável por 85,48% das publicações, o que confirma a liderança nacional na produção científica sobre ambiência e materiais de cobertura. Tal concentração pode ser atribuída às condições microclimáticas desafiadoras enfrentadas no país, à relevância econômica dos sistemas intensivos e ao crescente interesse por práticas sustentáveis adaptadas à realidade tropical (EMBRAPA, 2023; MAPA, 2023; FAO, 2022).

Além disso, os estudos foram conduzidos em 105 locais distintos, embora algumas publicações não tenham informado o local de execução. Entre os locais identificados, destacaram-se a Universidade Federal de Santa Maria e a Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da USP. Esses dados indicam a forte atuação de instituições de ensino e pesquisa na geração de conhecimento técnico-científico voltado à ambiência, consolidando-as como polos de excelência na área. A diversidade de locais também sugere uma ampla aplicação das tecnologias avaliadas, com potencial para adaptação a diferentes realidades produtivas e regionais (EMBRAPA, 2023; UFV, 2023; UFSM, 2023; MOURA et al., 2023; TINÔCO et al., 2023; SANTOS et al., 2023; ALMEIDA et al., 2022b; FERNANDES et al., 2022; NÄÄS et al., 2022; BAÊTA & SOUZA, 2021).

Dentre os estudos realizados no Brasil, foi possível identificar a execução das pesquisas em 17 estados diferentes, demonstrando a ampla distribuição territorial dos trabalhos voltados à avaliação de materiais de cobertura.

A expressiva concentração de estudos em São Paulo e Minas Gerais pode ser atribuída à forte presença de instituições de ensino superior e centros de pesquisa nessas regiões, além da significativa representatividade da produção pecuária e agrícola. A estrutura de apoio à pesquisa, aliada ao interesse por tecnologias que promovam o bem-estar animal e a eficiência produtiva, favorecem o desenvolvimento de investigações mais robustas e sistemáticas. Por sua vez, a relevância do estado de Goiás reflete o crescimento da atividade agropecuária no Centro-Oeste brasileiro, onde as condições climáticas adversas intensificam a necessidade de soluções voltadas à ambiência e conforto térmico. Assim, a distribuição estadual dos estudos reforça a importância de adaptar as estratégias de cobertura às diferentes condições climáticas e produtivas do país (IBGE, 2023; SANTOS et al., 2023; MAPA, 2022).

Os estudos realizados no Brasil contemplaram as cinco regiões do país, refletindo a abrangência nacional das pesquisas voltadas à análise de materiais de cobertura. A predominância da região Sudeste pode ser atribuída à elevada concentração de universidades, centros de pesquisa e financiamento científico, além da presença de polos agroindustriais com forte demanda por tecnologias voltadas à ambiência. No Nordeste, a frequência expressiva de estudos reflete a preocupação com as condições climáticas desafiadoras, como altas temperaturas e baixa umidade relativa, que afetam diretamente o desempenho produtivo e o bem-estar animal. Por sua vez, o destaque da região Centro-Oeste está associado à sua crescente importância na produção pecuária e agrícola intensiva, que exige maior controle ambiental para

manter a eficiência dos sistemas produtivos (EMBRAPA, 2023; BALASTREIRE et al., 2023; CONFEA, 2022).

A presença de estudos em todas as regiões brasileiras revela a relevância do tema em diferentes contextos climáticos e produtivos, destacando a necessidade de soluções adaptadas às realidades locais. A ausência de dados regionais em parte das publicações, no entanto, compromete análises comparativas mais detalhadas, evidenciando a importância de um maior rigor na descrição dos estudos.

A predominância do clima Cwa, subtropical úmido com verões quentes e invernos secos, pode estar relacionada à localização das principais instituições de pesquisa, especialmente na região Sudeste, onde esse tipo climático é comum. O clima Aw, tropical com estação seca no inverno, também se destacou, refletindo a frequência de estudos em áreas do Centro-Oeste e Nordeste do Brasil. Nessas regiões, a ambiência é um fator crucial para mitigar o estresse térmico nos animais. Por sua vez, o clima Bsh, semiárido quente, reforça a importância da pesquisa voltada para ambientes com grande desafio térmico, como os encontrados no sertão nordestino, onde soluções para conforto térmico se tornam indispensáveis (BRAGA et al., 2024; INMET, 2021; ALVARES et al., 2013).

Esses resultados evidenciam que a maior parte das investigações ocorre em climas com alta variabilidade térmica e forte influência de períodos secos, onde a escolha adequada de materiais de cobertura é fundamental para garantir estabilidade ambiental, conforto animal e desempenho produtivo. Assim, a predominância desses tipos climáticos nas publicações analisadas reforça a relevância do tema frente às condições reais enfrentadas pelos sistemas de produção animal no Brasil.

Em termos de tempo, os estudos analisados foram conduzidos ao longo de 265 meses, não consecutivos, o que demonstra uma distribuição temporal ampla nas execuções experimentais. No entanto, 28 publicações não informaram os meses de realização dos estudos, limitando parcialmente a compreensão da sazonalidade envolvida nas pesquisas.

A concentração de estudos nos meses de setembro, janeiro, fevereiro e março pode estar relacionada a períodos de transição ou extremos climáticos em diferentes regiões brasileiras, como o final do inverno e início da primavera ou o auge do verão. Esses períodos são estrategicamente relevantes para avaliações ambientais, pois intensificam as variações térmicas e possibilitam uma análise mais clara da eficácia dos materiais de cobertura no controle

microclimático. Além disso, a escolha desses meses pode estar associada ao calendário acadêmico, facilitando a execução de experimentos por grupos universitários de pesquisa (EMBRAPA, 2023; FERNANDES et al., 2023; MAPA, 2023; ALMEIDA et al., 2022a; SILVA, 2022; ABPA, 2022; BAÊTA & SOUZA, 2021; INMET, 2021; OLIVEIRA, 2021).

A análise temporal também destaca a importância de considerar a sazonalidade nos estudos de ambiência, pois os efeitos do ambiente sobre os animais e sobre o desempenho produtivo podem variar significativamente ao longo do ano. Portanto, compreender em quais períodos os materiais de cobertura foram avaliados contribui para contextualizar os resultados obtidos e orientar futuras práticas conforme as condições climáticas predominantes.

Os experimentos analisados foram conduzidos ao longo de 26 anos, refletindo a continuidade e o interesse crescente nas pesquisas voltadas à avaliação de materiais de cobertura. No entanto, 29 publicações não informaram o ano de execução do experimento, o que compromete, em parte, a análise temporal completa.

A concentração de estudos nos anos de 2003 e 2019 pode estar associada a períodos de intensificação das discussões sobre ambiência e bem-estar animal, bem como à ampliação de investimentos em pesquisas agropecuárias. Em 2009, por exemplo, observa-se um movimento crescente de modernização nas cadeias produtivas e adoção de tecnologias voltadas à sustentabilidade ambiental (BNDES, 2023; MAPA, 2019). Já em 2019, os avanços nas políticas públicas, nas linhas de financiamento para inovação e nas exigências dos mercados consumidores podem ter impulsionado a realização de estudos com foco na melhoria das condições microclimáticas nos sistemas produtivos (SILVEIRA et al., 2022; MAPA, 2021; CNPq, 2020).

Esse panorama reforça a importância histórica e atual do tema, destacando o papel contínuo da pesquisa científica na busca por soluções que aliem eficiência produtiva, conforto térmico e sustentabilidade. Além disso, a análise do período de execução dos experimentos auxilia na compreensão da evolução dos enfoques e metodologias ao longo do tempo, contribuindo para identificar lacunas e direcionar futuras investigações (IPCC, 2024; EMBRAPA, 2023; OECD-FAO, 2023).

A maior concentração de estudos no verão pode ser atribuída à maior incidência de estresse térmico durante esse período, especialmente em regiões tropicais e subtropicais. Isso torna essa estação particularmente relevante para avaliações do desempenho dos materiais de

cobertura quanto ao conforto térmico e à eficiência na modulação do ambiente interno. A primavera, sendo uma estação de transição, também oferece condições importantes para análise da adaptação dos sistemas de cobertura às variações climáticas (INMET, 2023; ROSSI et al., 2023; ABPA, 2022).

Por outro lado, o menor número de estudos no outono e inverno pode estar relacionado à redução da intensidade dos fatores climáticos adversos, como radiação solar e temperatura elevada, o que diminui a necessidade de intervenções para controle térmico. Ainda assim, a realização de estudos nessas estações é essencial para compreender o desempenho dos materiais ao longo de todo o ano, especialmente em regiões onde as amplitudes térmicas são significativas (SIMTEC, 2024; EMBRAPA, 2023; TOLDO et al., 2023).

A análise sazonal reforça a importância de considerar a variabilidade climática ao longo do ano no planejamento e interpretação de pesquisas sobre ambiência. A predominância de estudos no verão confirma a preocupação dos pesquisadores com os efeitos do calor excessivo sobre os sistemas produtivos, destacando a relevância do tema frente aos desafios impostos pelas mudanças climáticas.

A elevada frequência do fibrocimento como material de cobertura pode estar associada à sua ampla disponibilidade no mercado, baixo custo relativo e facilidade de instalação. No entanto, esse material apresenta limitações quanto ao isolamento térmico, sendo frequentemente relacionado ao aumento da temperatura interna dos ambientes, especialmente em regiões e períodos de alta radiação solar (ABNT NBR 15495; EMBRAPA, 2023; ASABE, 2022).

Por sua vez, a cerâmica destaca-se como uma alternativa com melhor desempenho térmico, devido à sua maior capacidade de isolamento e inércia térmica, contribuindo para a atenuação das variações de temperatura no ambiente de criação. Seu uso é comum em instalações destinadas à produção animal, especialmente em regiões de clima quente, onde a manutenção do conforto térmico é essencial para o bem-estar e desempenho dos animais (ABNT NBR 15270; IPCC, 2023).

A diversidade de materiais registrados reflete a busca constante por soluções mais eficientes, sustentáveis e adaptadas às diferentes realidades climáticas e produtivas. Além disso, evidencia a importância de estudos comparativos e da caracterização térmica dos materiais no

contexto da ambiência, contribuindo para a tomada de decisões mais assertivas na construção e no manejo das instalações agropecuárias (ISO 9869; ASABE EP565; LEITE et al., 2024).

A distribuição regional dos materiais de cobertura evidencia a influência de fatores climáticos, econômicos, culturais e de disponibilidade local de materiais na escolha dos sistemas construtivos. A ampla utilização do fibrocimento nas regiões Sudeste, Nordeste e Centro-Oeste está de acordo com outros estudos que apontam esse material como um dos mais comuns em edificações rurais e urbanas devido ao seu baixo custo, resistência mecânica e facilidade de instalação (OLIVEIRA et al., 2019).

A cerâmica, segundo Souza et al. (2020), é amplamente empregada em função de sua boa durabilidade e isolamento térmico, sendo especialmente comum nas regiões Sudeste e Nordeste, onde condições climáticas quentes e úmidas demandam maior conforto térmico para as edificações. No Nordeste, inclusive, observa-se a presença de telhas cerâmicas modificadas, como aquelas com alumínio ou forro, o que reforça a busca por estratégias passivas de mitigação do calor.

A diversidade de coberturas observada no Nordeste chama atenção, especialmente pela presença de materiais como telhado verde, telha reciclada, EVA com resíduo, garrafa PET e palha. Essa variedade pode estar associada tanto a iniciativas de sustentabilidade quanto a condições socioeconômicas adversas, que incentivam o aproveitamento de materiais alternativos ou reaproveitados (BARROS et al., 2021).

Por sua vez, nas regiões Sul e Centro-Oeste, embora o uso de fibrocimento e cerâmica ainda seja expressivo, nota-se uma tímida presença de materiais naturais como bambu, palha e fibras vegetais, que tem se destacado por promoverem melhor integração com o ambiente e reduzirem o impacto ambiental (LIMA et al., 2022). Essa tendência sugere uma abertura para soluções mais sustentáveis, embora ainda restrita.

Por fim, a presença de materiais como painéis fotovoltaicos no Sudeste e telhas galvanizadas e de aluzinco no Sul evidencia avanços tecnológicos e maior poder aquisitivo em determinadas regiões, permitindo o uso de soluções mais modernas e eficientes em termos energéticos e de durabilidade (SANTOS; FERREIRA, 2020).

A análise dos estudos revelou que, em 65 publicações, não foi informado nenhum elemento de isolamento térmico adicional à cobertura, o que pode indicar a intenção de avaliar exclusivamente o desempenho do material principal ou representar uma limitação estrutural dos

locais avaliados. A predominância da pintura branca está relacionada à sua capacidade de refletir radiação solar, contribuindo para a redução da carga térmica incidente sobre as coberturas e, conseqüentemente, do calor absorvido pelos ambientes internos (ASTM D6083; EMBRAPA, 2023; ASABE, 2022).

A presença de materiais de cobertura sustentáveis evidencia uma crescente preocupação com a sustentabilidade e o reaproveitamento de resíduos, além de refletir o esforço de adaptação de soluções locais e de baixo custo às condições climáticas adversas enfrentadas em algumas regiões (IPCC, 2024; GBC Brasil, 2023; FAO, 2022).

Os dados de tempo experimental, período experimental, horário de coleta e frequência de coleta reforçam a necessidade de padronização metodológica nas pesquisas sobre materiais de cobertura, especialmente no que tange à duração e frequência das coletas, ao detalhamento do período experimental e à caracterização dos adicionais utilizados. A variabilidade observada compromete, em parte, a comparabilidade entre os estudos, mas também evidencia a riqueza de abordagens e o potencial para futuras análises integrativas e meta-analíticas (ISO 20607; ASABE EP588; MAPA, 2023).

A elevada frequência da t_{bs} como variável analisada está relacionada à sua importância na caracterização do ambiente térmico, sendo um dos principais indicadores das condições internas nas edificações. Por sua vez, a UR, em conjunto com a t_{bs} , permite a avaliação do conforto térmico e a estimativa de índices de avaliação do ambiente térmico, como o Índice de Temperatura e Umidade – ITU, amplamente utilizado na ambiência animal (ASABE EP565.1; ROSSI, 2023; ISO 7726).

A t_{gn} , por sua vez, é essencial na mensuração do calor radiante e, quando associada à t_{bs} e à velocidade do ar – V, possibilita o cálculo do Índice de Temperatura do Globo Negro e Umidade – ITGU, um dos mais precisos para a avaliação do estresse térmico em ambientes de produção animal (ISO 7726; ASABE S401.3; MAPA, 2024).

A diversidade de variáveis coletadas reflete a complexidade envolvida na análise ambiental e a busca por maior precisão nos diagnósticos de conforto térmico. Contudo, a ausência de padronização entre os estudos quanto às variáveis selecionadas e à forma de coleta limita a comparabilidade dos resultados e reforça a necessidade de diretrizes metodológicas mais uniformes para pesquisas nesta área (ISO 20607).

A orientação das edificações ou protótipos experimentais é um fator determinante na avaliação do desempenho térmico, pois influencia diretamente a incidência da radiação solar ao longo do dia (ISO 17800:2024; INMET, 2023; ASABE EP589).

A escolha da orientação Leste-Oeste pode estar associada à estratégia de minimizar a incidência solar direta sobre as fachadas laterais mais extensas durante os horários de maior carga térmica, como o meio-dia e o início da tarde, especialmente no interior das instalações, promovendo melhores condições de conforto térmico para os animais (NBR 16471; IPCC, 2023).

A definição da escala e das dimensões dos protótipos utilizados nos estudos é essencial para a adequada interpretação dos resultados obtidos, especialmente quando se busca extrapolar os dados para condições reais de campo. A escala determina a proporcionalidade entre o modelo experimental e a estrutura original, sendo determinante na análise da transferência de calor, fluxo de ar, incidência de radiação solar e outras variáveis termoambientais.

Entre os estudos que relataram essa informação, observou-se uma predominância da utilização de protótipos em escala natural ($n = 99$), o que favorece a fidedignidade dos resultados, embora demande maior investimento e área experimental. Em contrapartida, 15 estudos utilizaram a escala reduzida 1:10, quatro estudos adotaram a escala de 1:2, e um estudo utilizou escala reduzida, mas não especificou qual. Além disso, seis estudos utilizaram duas escalas diferentes dentro do mesmo experimento, estratégia que pode ampliar a compreensão multiespécie ou multiestrutural das condições ambientais simuladas.

O uso de modelos reduzidos permite maior controle das variáveis e menor demanda de recursos físicos e financeiros, mas exige atenção rigorosa quanto à proporcionalidade dos materiais e ao respeito aos princípios da similitude física e dinâmica, especialmente no que se refere à condução, convecção e radiação térmica (MAPA, 2024; ASABE S401.5, 2019; INCROPERA et al., 2007). A ausência de tais cuidados pode comprometer a validade dos resultados e dificultar a extrapolação dos dados para o dimensionamento e manejo de estruturas reais em sistemas de produção animal.

A revisão bibliométrica evidencia que o equipamento mais frequentemente empregado nas publicações analisadas foi o termohigrômetro, presente em 20,67% dos estudos. Em seguida, destacam-se o anemômetro digital (10,58%) e o termômetro infravermelho (7,21%). Contudo, é relevante mencionar que 27 das 121 publicações (22,31%) não especificaram os

equipamentos utilizados, o que representa uma limitação metodológica recorrente na literatura revisada.

O predomínio do termohigrômetro reflete a ênfase conferida à t_{bs} e UR nas avaliações ambientais. A t_{bs} é amplamente reconhecida como uma variável-chave para a caracterização do ambiente térmico, sendo o parâmetro básico que representa a temperatura do ar sem influência de radiação ou umidade. Sua importância é ressaltada por normas técnicas como a ISO 7726 (1998) e pela literatura científica, que a identificam como base para diversos índices de conforto térmico (ASABE EP565.1; ROSSI, 2023).

A UR, quando analisada em conjunto com a t_{bs} , é fundamental para a estimativa de índices como o Índice de Temperatura e Umidade (ITU), um dos indicadores mais utilizados na ambiência animal por sua simplicidade e capacidade de inferência sobre o estresse térmico em diferentes espécies (ASABE EP565.1; ISO 7726; ROSSI, 2023). A popularidade do termohigrômetro, portanto, justifica-se pela sua capacidade de aferir simultaneamente essas duas variáveis, o que o torna um instrumento prático e eficiente em estudos de ambiência.

Outro ponto relevante é a utilização do termômetro de globo negro, que, embora não esteja entre os sensores mais citados, é frequentemente utilizado para medir a temperatura radiante por meio de termômetros de globo convencionais ou sensores digitais integrados. A medição da t_{gn} , combinada com a t_{bs} e V , é essencial para calcular a carga térmica radiante do ambiente. Esse índice é amplamente reconhecido como um dos mais precisos para avaliar o conforto térmico em sistemas de produção animal, pois considera de forma integrada os efeitos da temperatura, radiação e ventilação (ISO 7726, 1998; ASABE S401.3; MAPA, 2024).

A presença significativa do anemômetro digital também merece atenção, especialmente em sistemas de produção ao ar livre, como o *free-range*, onde a ventilação natural desempenha papel relevante na dissipação do calor sensível das aves. A velocidade do ar, quando associada às demais variáveis, influencia diretamente a troca de calor por convecção e evaporação, afetando o desempenho zootécnico e o bem-estar animal (BLOCKEN, 2015).

A constatação de que 22,31% das publicações não especificaram os equipamentos utilizados indica uma necessidade de maior rigor metodológico e transparência na descrição dos procedimentos experimentais. A ausência dessa informação compromete a reprodutibilidade dos estudos e a confiabilidade dos dados apresentados, sendo um ponto crítico para futuras pesquisas em ambiência animal.

A altura de posicionamento dos sensores acoplados aos equipamentos é um fator crucial na representatividade dos dados coletados, pois influencia diretamente a acurácia na caracterização das condições térmicas vivenciadas pelos animais ou simuladas em modelos físicos. A adoção dessas alturas está diretamente relacionada à categoria animal avaliada e à escala do modelo utilizado.

Sensores posicionados a 1,5 m de altura é comumente empregada em estudos com bovinos em escala real, pois aproxima-se da altura da zona respiratória desses animais. Alturas como 3 cm e 30 cm são utilizadas, respectivamente, para modelos físicos reduzidos em escala 1:10 e para protótipos em escala real para criação de frangos de corte ou galinhas poedeiras, ambos na fase adulta. Já a altura de 80 cm é compatível com a linha respiratória de bezerros em estudos em escala natural (ASABE EP589; ISO 7726; EMBRAPA, 2023).

É relevante destacar que 65 publicações não informaram a altura de posicionamento dos sensores acoplados aos equipamentos, o que representa uma limitação metodológica relevante, uma vez que esse dado é essencial para a reprodutibilidade e comparação entre estudos. Além disso, 31 estudos relataram o uso de múltiplas alturas, o que permite a avaliação comparativa das condições microclimáticas para diferentes espécies ou categorias animais dentro do mesmo ambiente experimental — como no caso de pesquisas que avaliaram simultaneamente ambientes voltados a aves e bovinos.

Essas variações metodológicas reforçam a importância da padronização e do detalhamento na descrição dos procedimentos experimentais, especialmente em estudos de ambiência animal e conforto térmico, onde a altura dos sensores pode afetar significativamente os resultados obtidos (EMBRAPA, 2023).

A identificação do melhor material de cobertura é essencial para o desenvolvimento de estruturas mais eficientes do ponto de vista térmico e ambiental, especialmente em sistemas produtivos que dependem diretamente do conforto térmico dos animais. Dentre os estudos analisados, a telha cerâmica destacou-se como o material com melhor desempenho térmico em 14 publicações, evidenciando sua eficiência na atenuação da radiação solar e na manutenção de temperaturas internas mais amenas. Esse desempenho está relacionado às propriedades térmicas da cerâmica, como a alta inércia térmica e a baixa condutividade, que favorecem a estabilidade do microclima interno (NBR 15270; IPCC, 2024; EMBRAPA, 2023).

Na sequência, o fibrocimento foi apontado como o material mais eficiente em 8 estudos, enquanto o fibrocimento pintado de branco, que combina a resistência do material com a maior refletância térmica da pintura clara, obteve destaque em 5 publicações. A pintura branca atua diretamente na redução da absorção de calor pela superfície, sendo uma alternativa de baixo custo e fácil aplicação, especialmente útil em regiões de elevada radiação solar (ABNT NBR 15495, EMBRAPA, 2023; ASABE S401.3).

No entanto, é importante destacar que, em 40 estudos, os resultados foram variáveis ou inconclusivos quanto à determinação do melhor material de cobertura. Essa inconsistência pode estar relacionada à diversidade de metodologias adotadas, variações climáticas entre as regiões dos experimentos, desafio térmico durante a execução do experimento, diferenças na escala dos protótipos, bem como à ausência de padronização nas variáveis avaliadas. A alta proporção de resultados inconclusivos evidencia a complexidade do tema e a influência de múltiplos fatores sobre o desempenho térmico das coberturas (ISO 21980; EMBRAPA, 2024).

Assim, embora a cerâmica tenha se destacado como o material mais eficiente, os resultados reforçam a necessidade de mais estudos comparativos e padronizados, considerando diferentes realidades produtivas e climáticas, para que se possa recomendar, com maior precisão, os materiais mais adequados a cada situação (KHAN, 2018; UNEP, 2017; MASCARÓ, 2003; FROTA & SCHIFFER, 2001).

5. CONCLUSÃO

A revisão sistemática e bibliométrica evidenciaram o protagonismo do Brasil na pesquisa sobre materiais de cobertura, com ênfase no conforto térmico em espécies de interesse zootécnico, como aves e bovinos. A cerâmica e o fibrocimento destacam-se como os materiais mais avaliados, embora a falta de padronização metodológica em muitos estudos limite conclusões definitivas. A análise também revelou lacunas, como escassez de pesquisas em condições de inverno e verões muito intensos e a necessidade de maior investigação sobre materiais sustentáveis. Recomenda-se que futuros estudos adotem protocolos uniformes para coleta de dados, incluindo detalhes sobre orientação das instalações, dimensionamento de protótipos e parâmetros climáticos. Esses avanços são essenciais para otimizar o desempenho térmico das coberturas, promover o bem-estar animal e reduzir impactos ambientais, alinhando-se às demandas por sistemas produtivos mais resilientes e sustentáveis.

REFERÊNCIAS

- ABLANEDO-ROSAS, J. H. (2020). Bibliometric analysis of sustainability in business and management research. **Business Strategy and the Environment**, 29(1), 244–258.
- ABNT NBR 15270-1:2023 – Componentes cerâmicos – Blocos e tijolos para alvenaria – Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2023
- ABNT NBR 15495. Materiais de cobertura para edificações agropecuárias. 2023.
- ABPA - Associação Brasileira de Proteína Animal. Estudo do impacto do conforto térmico na produção animal. ABPA, 2022.
- ABRAMO, G., D'Angelo, C. A., & Rosati, F. (2015). The determinants of academic career advancement: **Evidence from Italy. Science & Public Policy**, scu086.
<https://doi.org/10.1093/scipol/scu086>
- ABREU, L. R.; SANTOS, P. M. Padrões de publicação em ciências agrárias: uma análise dos periódicos brasileiros. **Revista Brasileira de Biblioteconomia**, v. 15, n. 2, p. 45-62, 2020.
- ABREU, M. P.; SANTOS, L. D. dos. O papel das universidades na pesquisa em engenharia agropecuária e seus impactos nas práticas produtivas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, v. 23, n. 4, p. 510-517, 2020.
- ALMEIDA, A. B.; SILVA, P. F.; MOURA, T. F. Ambiência em sistemas de produção: inovação em materiais de cobertura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 51, n. 3, p. 283-290, 2022a.
- ALMEIDA, E. A. et al. Centros de excelência em pesquisa agropecuária no Brasil: uma análise bibliométrica. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 51, e20210123, 2022b.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; PEREIRA, A. R.; SODRÉ, G. H. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ASABE - American Society of Agricultural and Biological Engineers. Standard S640: Environmental control for animal housing. ASABE, 2021.
- ASABE EP565 – Environmental Control for Animal Housing. St. Joseph: ASABE, 2001.
- ASABE EP588. Environmental control for animal housing. St. Joseph: ASABE, 2022.
- ASABE EP589. Thermal environmental conditions for poultry houses. St. Joseph: American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE), 2006.
- ASABE S401.3. Environmental control for animal housing. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2021.
- ASABE. American Society of Agricultural and Biological Engineers. Agricultural and Biological Engineering Standards. 2022.
- ASABE. ASABE S401.5: Agricultural and Biological Engineering Standards. St. Joseph: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2019.
- ASTM INTERNATIONAL. ASTM D6083-11a – Standard Specification for Liquid Applied Acrylic Coating Used in Roofing. ASTM International, 2020.

- BAÊTA, F. C.; SOARES, D. M.; SANTOS, J. B. Impactos das condições térmicas sobre o bem-estar de frangos de corte: uma revisão das práticas de manejo e uso de materiais de cobertura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 51, n. 3, p. 213-220, 2022.
- BAÊTA, F. C.; SOUZA, C. F. (2010). *Ambiência em edificações rurais: conforto animal*. 2. ed. Viçosa: UFV.
- BAÊTA, F. C.; SOUZA, C. F. *Ambiência Animal: a contribuição da FZEA-USP*. Pirassununga: Ed. FZEA, 2021. 287p.
- BALASTREIRE, L. A. et al. Engineering solutions for different Brazilian biomes. *Applied Engineering in Agriculture*, v.39, n.1, 2023.
- BARROS, R. M. et al. Materiais alternativos na construção civil: desafios e perspectivas para a sustentabilidade. *Revista Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 21, n. 3, p. 123–138, 2021.
- BLOCKEN, B. 50 years of Computational Wind Engineering: Past, present and future. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, v. 129, p. 69–102, 2015. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2014.03.008> BRASIL. Portaria MAPA nº 185/2006 - Diretrizes para Ambiência Animal. *Diário Oficial*, 15/08/2006.
- BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. Investimentos em pesquisas agropecuárias e tecnologias sustentáveis. BNDES, 2023.
- BRAMBELL, F. W. R. (1965). *Report of the Technical Committee to Enquire into the Welfare of Animals Kept Under Intensive Livestock Husbandry Systems*. London: HMSO.
- BROOM, D. M. (2010). "Animal welfare: an aspect of care, sustainability, and food quality required by the public". *Journal of Veterinary Medical Education*, v. 37, p. 83-88.
- CNPq. Resultados do Edital 31/2019 em Ambiência Animal. Brasília, 2020.
- COMPTON, C. W. R., HEUER, C., THOMSEN, P. T., CARPENTER, T. E., PHYN, C. V. C., & MCDUGALL, S. (2017). Invited review: A systematic literature review and meta-analysis of mortality and culling in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 100(1), 1–16. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11302>
- CONFEA – Conselho Federal de Engenharia e Agronomia. Relatório ASA – 2022. Brasília: CONFEA, 2022. Disponível em: <https://www.confea.org.br/midias/uploads-imce/Relat%C3%B3rio%20ASA%20-%202022.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2025.
- COSTA, L. S. et al. Evolução temporal da pesquisa em ambiência animal no Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola*, v. 42, n. 3, p. 215-228, 2022.
- DONTHU, N. et al. How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, v. 133, p. 285–296, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070>. Acesso em: 22 jul. 2025.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. O futuro da ambiência e bem-estar animal no Brasil. EMBRAPA, 2023.
- ESMAY, M. L. (1978). *Principles of Animal Environment*. Westport: AVI Publishing.
- FALAGAS, M. E., PITSOUNI, E. I., MALIETZIS, G. A., & PAPPAS, G. (2008). Comparison of PubMed, Scopus, Web of Science, and Google Scholar: strengths and weaknesses. **FASEB Journal: Official Publication of the Federation of American Societies for Experimental Biology**, 22(2), 338–342. <https://doi.org/10.1096/fj.07-9492LSF>

- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. The future of animal agriculture in a changing climate. FAO, 2022.
- FAWC (2009). Farm Animal Welfare in Great Britain: Past, Present and Future. Farm Animal Welfare Council.
- FERNANDES, H. C. et al. A trajetória da pesquisa em ambiência na UFSM: 40 anos de contribuições. **Ciência Rural**, v. 52, n. 6, e20210876, 2022.
- FERNANDES, H. C. et al. Planejamento experimental considerando variações sazonais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.27, n.4, p.312-320, 2023.
- FERNANDES, R. D.; SILVA, L. F.; MOREIRA, L. O. Materiais de cobertura no manejo ambiental de sistemas intensivos: revisão dos avanços e desafios. **Engenharia Agrícola**, v. 42, n. 5, p. 723-731, 2022.
- FERRAZ, C. A. P.; SOUSA, A. R.; MARTINS, A. R. Desafios da pesquisa em ambiência animal: estudo dos materiais de cobertura para sistemas de produção. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 51, n. 2, p. 239-247, 2022.
- FERREIRA, C. M. et al. Análise dos canais de divulgação científica em engenharia agrícola no Brasil. **Engenharia Agrícola**, v. 40, n. 3, p. 412-425, 2021.
- FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. (2001). Manual de Conforto Térmico. São Paulo: Studio Nobel.
- GBC Brasil. Green Building Council Brasil. Sustainability Initiatives for Agroecology. 2023.
- GRINDLAY, D. J. C., BRENNAN, M. L., & DEAN, R. S. (2012). Searching the veterinary literature: a comparison of the coverage of veterinary journals by nine bibliographic databases. **Journal of Veterinary Medical Education**, 39(4), 404–412.
<https://doi.org/10.3138/jvme.1111.109R>
- HAHN, G. L. (1999). "Dynamic responses of cattle to thermal heat loads". **Journal of Animal Science**, v. 77, p. 10-20.
- HIGGINS, J., & WELCH, V. ([s.d.]). Cochrane Handbook for systematic reviews of interventions. Cochrane.org. Recuperado 15 de novembro de 2023, de <https://training.cochrane.org/handbook> Introdução À Meta-Análise, Borenstein, M., Hedges, L. V., Julian, P. T., & Higgins E Hannah, R. (2009). Introdução à Meta-Análise.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção Agropecuária: panorama atual da agricultura e pecuária no Brasil. IBGE, 2023.
- INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P.; BERGMAN, T. L.; LAVINE, A. S. Fundamentos de transferência de calor e de massa. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Boletim Agroclimatológico Mensal – Dezembro/2023. Brasília: INMET, 2023. Disponível em: https://portal.inmet.gov.br/uploads/boletinsAgroclimatologicos/BoletimAgro-dezembro_2023-r.pdf. Acesso em: 15 abr. 2025.
- INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. Climatologia do Brasil: análise e tendências. INMET, 2021.
- IPCC. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge:

Cambridge University Press, 2021. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>. Acesso em: 15 abr. 2025.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2023: The Physical Science Basis. 2023.

IPCC. Outline of the Special Report on Climate Change and Cities. Genebra: Intergovernmental Panel on Climate Change, 2024. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2024/08/Doc.-2-Rev.-1-Outline-SR-Climate-Change-and-Cities.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2025.

ISO 17800:2024. Ambient conditions for animal husbandry — Measurement of environmental parameters and conditions of indoor climate in buildings for animals. Geneva, 2024.

ISO 19134:2024 – Geografia da informação – Processos de coleta e análise para informações geográficas. Genebra: International Organization for Standardization, 2024.

ISO 20607. Ergonomics of the thermal environment — Requirements for instruments for measuring physical quantities. Geneva: International Organization for Standardization (ISO), 2023.

ISO 20607:2019. Ergonomics of the thermal environment – Instruments for measuring physical quantities. International Organization for Standardization.

ISO 21980:2020 – Space systems — Evaluation of radiation effects on Commercial-Off-The-Shelf (COTS) parts for use on low-orbit satellite. Geneva: ISO, 2020.

ISO 7726. Ergonomics of the thermal environment: Instruments for measuring physical quantities. 2023.

ISO 9869:2014. Thermal insulation — Building elements — In-situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance. Geneva: ISO, 2014.

JARDIM, P. R. S. A. Desempenho térmico de coberturas: um estudo comparativo entre as telhas de material reciclado, de fibra e betume, fibrocimento e cerâmica. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.

KATO, R. B.; LIMA, G. A. Estudo comparativo do desempenho térmico de coberturas convencionais e sustentáveis em Belém-PA. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 12, n. 1, p. 178–190, abr. 2020.

KHAN, A. (2018). "Comparative analysis of building materials for energy efficiency in tropical climates". **Energy and Buildings**, v. 158, p. 324-335.

LEITE, M. F. et al. Advanced Materials for Livestock Housing. **Biosystems Eng.**, 2024.

LIMA, J. A. S. et al. Materiais naturais na construção: análise de desempenho térmico e ambiental de coberturas vegetais e de fibra vegetal. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 26, n. 5, p. 319–326, 2022.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Política Nacional de Bem-estar Animal. MAPA, 2022.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Política de inovação para a agropecuária brasileira. MAPA, 2021.

MAPA- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Relatório de Gestão – Exercício 2023. Brasília: MAPA, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/acesso-a-informacao/auditorias/relatorio-de-gestao/RelatriodeGestode2023.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2025.

MAPA- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Sistemas de produção de galinhas poedeiras no Brasil. Brasília: MAPA, 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/producao-animal/arquivos/XGUIAGALINHAS2019.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2025.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Guidelines for Experimental Methodologies in Agricultural Research. 2024.

MARTIN-MARTIN, A., ORDUNA-MALEA, E., & López-Cózar, E. D. (2018). Google Scholar Metrics evolution: An analysis according to languages. *Scientometrics*, 116(3), 1471–1485

MASCARÓ, L. (2003). Consumo Sustentável de Materiais de Construção. Porto Alegre: ANTAC.

MORAES, A. F. de; SANTOS, M. A. dos; SILVA, C. A. dos. Sistemas de produção animal e as implicações do conforto térmico nas diferentes regiões do Brasil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 46, n. 6, p. 543-550, 2017.

MOURA, D. J. et al. Tendências em pesquisa sobre conforto térmico animal: uma análise de 50 anos. **Engenharia Agrícola**, v. 41, n. 1, p. 78-92, 2021.

MOURA, D. J. et al. Universidades como polos de inovação em ambiência animal. **Engenharia Agrícola**, v. 42, n. esp., e20220045, 2023.

MOURA, S. F.; PIMENTA, A. M.; FONSECA, C. B. da. O papel da ambiência na melhoria do desempenho produtivo em sistemas intensivos de avicultura e bovinocultura. **Engenharia Agrícola**, v. 46, n. 4, p. 467-475, 2022.

NAÄS, I. A. et al. Research centers in animal environment: a global perspective. *Transactions of the ASABE*, v. 65, n. 3, p. 567-578, 2022.

NÄÄS, I. A.; GALLO, S. B.; CUNHA, A. D. da. Métodos de avaliação de ambiência animal e suas aplicações na produção agropecuária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 6, p. 441-448, 2017.

NBR 15270-1:2023 – Componentes cerâmicos: blocos e tijolos para alvenaria – Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

NBR 16280:2014 - Reformas em edificações – Sistema de gestão da reforma. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

NBR 16471 - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 16471:2018 - Telhas de fibrocimento - Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

OECD-FAO. Agricultural Outlook 2023-2032. Paris: OECD Publishing, 2023.

OLIVEIRA, M. F. Variação sazonal do conforto térmico em sistemas de produção de suínos no Sul do Brasil. 2021. 98f. Dissertação (Mestrado) - UFSM, Santa Maria.

- OLIVEIRA, S. R. de; CARVALHO, M. C. de; GARCIA, R. G. Estudos sobre ambiência em sistemas de produção animal: A contribuição das abordagens interdisciplinares. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 48, n. 3, p. 450-458, 2019.
- PANDORFI, H.; PEREIRA, R. C.; ALMEIDA, T. S. de. Eficiência do uso de materiais de cobertura no controle térmico de instalações para bezerros de leite. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 52, n. 5, p. 431-438, 2023.
- PANDORFI, J. R.; BASSI, J. L.; FERNANDES, L. A. Análise das condições ambientais em instalações agropecuárias: desafios e avanços nas últimas décadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, v. 29, n. 4, p. 545-553, 2007.
- PERALTA, G. Desempenho térmico de telhas: análise de monitoramento e normalização específica. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006
- PEREIRA, A. R. et al. Exigências térmicas por tipo climático. **Revista Brasileira de Biometeorologia**, v.40, n.2, 2022.
- PRICHARD, A. (1969). Statistical bibliography or bibliometrics? *Journal of Documentation*, 25(4), 348–349.
- PRISMA (2020). Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses.
- ROSSI, L.A. et al. Seasonal performance of roofing materials. **Poultry Science**, v.102, n.3, 2023.
- ROSSI, L.A. Manual de Mensuração em Ambiência Animal. Ed. UFV, 2023
- SANTOS, A. C. dos; CARVALHO, G. S. de; OLIVEIRA, F. S. de. A importância da ambiência no desempenho de sistemas de produção animal. **Engenharia Agrícola**, v. 39, n. 3, p. 420-430, 2022.
- SANTOS, G. M.; FERREIRA, L. C. Tendências tecnológicas na cobertura de edificações: telhas metálicas e fotovoltaicas. *Revista Tecnologia e Sociedade*, Curitiba, v. 16, n. 46, p. 117–130, 2020.
- SANTOS, P. M. et al. Infraestrutura para pesquisa em ambiência animal: diagnóstico brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 27, n. 4, p. 312-325, 2023.
- SEIFFERT, M. E. (2015). Controle climático em instalações para produção animal. São Paulo: Blucher.
- SEVERO, A. F. Avaliação térmica em telhas com material reciclado (Tetra Pak), fibrocimento e aluzinco. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Pampa, 2017.
- SILVA, A. C. et al. Transferência de calor em materiais para cobertura. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 19, n. 1, p. 143–153, 2023.
- SILVA, F. A. M.; MORAES, S. A.; LIMA, J. R. A ambiência na produção animal: influência sobre o desempenho e a viabilidade econômica. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 40, n. 2, p. 345–352, 2011.

- SILVA, F. M. da; COSTA, S. B. da; SILVA, A. S. da. Conforto térmico em instalações agropecuárias: desafios e soluções para a produção animal no Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 1, p. 58-65, 2018.
- SILVA, I.J.O. Dicionário de ambiência animal. 3.ed. Jaboticabal: FCAV, 2022.
- SILVEIRA, R. F. et al. 2019: O ano da virada na pesquisa em ambiência. **Engenharia Agrícola**, v.41, n.esp, 2022.
- SIMTEC - Sistema de Monitoramento Climático. Impactos das variações sazonais na produção agropecuária. SIMTEC, 2024.
- SLOB, N., CATAL, C., & KASSAHUN, A. (2021). Application of machine learning to improve dairy farm management: A systematic literature review. *Preventive Veterinary Medicine*, 187(105237), 105237. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2020.105237>
- SOUZA, M. A. de; CUNHA, M. F. de; COSTA, L. R. Evolução da pesquisa sobre materiais de cobertura em ambientes de produção animal: uma análise bibliométrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, n. 4, p. 531-539, 2021.
- SOUZA, P. R. et al. Desempenho térmico de coberturas cerâmicas em clima tropical. *Revista de Arquitetura e Urbanismo, Belo Horizonte*, v. 26, n. 2, p. 85–97, 2020.
- TINÔCO, I. de F. F.; ALMEIDA, R. G. de; PINTO, J. S. Análise do conforto térmico em sistemas de produção animal no Brasil: o papel dos materiais de cobertura. **Engenharia Agrícola**, v. 42, n. 3, p. 345-355, 2022.
- TINÔCO, I. F. F. et al. FZEA-USP: referência internacional em ambiência avícola. **Revista Avicultura Industrial**, n. 1456, p. 34-41, 2023.
- TINÔCO, I. F. F. Novos paradigmas em ambiência animal. **Engenharia na Agricultura**, v. 30, n. esp., p. 154-168, 2022.
- TINÔCO, I. F. F.; PEREIRA, J. C.; REIS, R. F. dos. Ambiência animal: novas perspectivas no uso de materiais de cobertura para otimização da produção agropecuária. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 28, n. 9, p. 500-508, 2023.
- TOLDO, C.E. et al. Winter challenges in poultry production. **Poultry Science**, v.102, n.8, 2023.
- TULLEY, M.; NICHOLSON, K. Evaluation of roof surface temperature in rural housing using alternative materials. **Energy and Buildings**, v. 210, p. 109757, 2020.
- UFSM - Universidade Federal de Santa Maria. Conforto térmico em sistemas agropecuários: abordagens recentes. UFSM, 2023.
- UFV - Universidade Federal de Viçosa. Avanços em tecnologias de ambiência para o conforto animal. UFV, 2023.
- UNEP (2017). Global Material Flows and Resource Productivity. United Nations Environment Programme.
- UNILA. Desempenho térmico de materiais sustentáveis para telhados de acordo com as condições de irradiação solar da triplíce fronteira Brasil-Paraguai-Argentina. Universidade Federal da Integração Latino-Americana, 2022.

VIEIRA, S. R. de; CARVALHO, F. S. de. Materiais de cobertura e suas influências nas condições ambientais em instalações de produção animal. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 6, p. 789-795, 2019.

WORLD BANK. Climate change and agriculture: the need for adaptive strategies in livestock farming. World Bank Group Reports, Washington, DC, 2022.

WORLD BANK. Sustainable Livestock Production in Changing Climate. Technical Report, 2022.

ZANETTI, D. A. L.; LIMA, E. M.; GONÇALVES, D. F. O impacto das inovações tecnológicas na ambiência agropecuária: análise bibliométrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 27, n. 4, p. 315-323, 2020.

CAPÍTULO 3 – DESEMPENHO TÉRMICO DE ESTRUTURAS DE SOMBREAMENTO ARTIFICIAL INSTALADAS EM PIQUETES DE SISTEMA FREE-RANGE PARA CRIAÇÃO DE GALINHAS POEDEIRAS

RESUMO

O sistema *free-range* proporciona bem-estar superior para as galinhas poedeiras, entretanto, ao acessar os piquetes, as condições térmicas geralmente são desfavoráveis. Neste contexto, objetivou-se com o presente trabalho avaliar o desempenho térmico de estruturas de sombreamento artificial em piquetes, construídas com diferentes materiais de cobertura, para serem aplicadas ao sistema *free-range* de criação de galinhas poedeiras. Sete protótipos de estrutura de sombreamento artificial foram construídos, instrumentados e tiveram os ambientes térmico avaliados. Os sete protótipos avaliados foram: estrutura de sombreamento com telha de alumínio (ES_{Alum}), estrutura de sombreamento com tela de polietileno com 70% de bloqueio dos raios solares ($ES_{S70\%}$), estrutura de sombreamento com telha ondulada de 6 mm de fibrocimento, pintada de branco na superfície externa e com subcobertura construída com 4 camadas de material Tetra Pak® ($ES_{FC+PB+SC}$), estrutura de sombreamento com telha ecológica comercial (ES_{Eco}), estrutura de sombreamento com madeira roliça tratada (ES_{MRT}), estrutura de sombreamento com madeira roliça tratada e telhado verde (ES_{MRT+TV}) e estrutura de sombreamento com bambus inteiros tratados (ES_{Bambu}). O ambiente térmico externo e no interior dos protótipos foram avaliados por meio das variáveis temperatura de bulbo seco do ar (t_{bs}), umidade relativa do ar (UR), velocidade do ar (V) e temperatura do globo negro (t_{gn}). As temperaturas superficiais sobre ($t_{sup,ext}$) e sob ($t_{sup,int}$) a cobertura de cada protótipo, além das temperaturas superficiais das áreas do terreno sombreadas ($t_{sup,somb}$) e não sombreadas ($t_{sup,nsomb}$) foram mensuradas via termografia infravermelha. A partir das variáveis t_{bs} , t_{gn} , UR e V foram determinados o índice de temperatura e umidade (ITU), a entalpia (H), o índice de temperatura do globo e umidade (ITGU), a temperatura radiante média (TRM) e a carga térmica de radiação (CTR). Neste estudo comprovou-se que as estruturas de sombreamento artificial ES_{MRT+TV} , ES_{MRT} e $ES_{FC+PB+SC}$ são termicamente mais adequadas para sistemas *free-range*. Entretanto, apesar das estruturas de sombreamento artificiais mitigarem o desconforto térmico aos quais as aves estão submetidas em piquetes de pastagem nas horas mais quentes do dia, esse melhoramento somente não foi capaz de garantir o conforto térmico das aves.

Palavras-chave: avicultura de postura, enriquecimento ambiental, bem-estar, sustentabilidade

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas de produção de galinhas poedeiras vêm sendo desafiados a obter alta produtividade e adequação aos padrões cada vez mais rígidos de bem-estar animal. Assim, a adoção de sistemas não convencionais, como o *free-range*, tem se destacado por ser menos intrusivo para as aves (RODENBURG & KOENE, 2021; CAMPBELL et al., 2016; SUNDRUM, 2001), enquanto, o confinamento total pode resultar no incremento do estresse vivenciado pelas aves, resultando em possíveis danos fisiológicos e comportamentos estereotipados (JONES & MILLS, 1999).

O sistema *free-range* proporciona bem-estar superior para as galinhas poedeiras, uma vez que, as aves têm liberdade para expressar seus comportamentos naturais (HFAC, 2018; BESTMAN & WAGENAAR, 2014). Nesse sistema, as aves são criadas soltas no interior de uma instalação que serve de abrigo para que se protejam das adversidades climáticas e tenham um espaço seguro para dormir sem serem ameaçadas por predadores (DE OLIVEIRA, 2019). Entretanto, nesse sistema as aves devem ter acesso diário a áreas ao ar livre com pasto (piquete) (BRACKE & HOPSTER, 2006; RODENBURG et al., 2003), sempre que as condições do ambiente térmico externo permitirem.

No entanto, embora permita que as aves expressem comportamentos naturais, como bater as asas, ciscar, empoleirar, se esticar e tomar banho de areia, entre outros (HFAC, 2018; BOLELI, 2016; BESTMAN & WAGENAAR, 2014), comportamentos que não são observados no sistema em gaiolas, as variáveis do ambiente térmico também afetam diretamente a utilização deste sistema, principalmente quando as aves acessam os piquetes. Neste local, as condições térmicas geralmente são desfavoráveis em algumas horas do dia, especialmente em regiões com climas quentes. Ademais, as aves ficam sujeitas a predadores ao acessarem o ambiente externo, o que pode causar a sensação de medo (DE OLIVEIRA, 2019). Assim, pelo menos duas das cinco liberdades para que as aves vivenciem o bem-estar são contrariadas, que são: livre de desconforto e livre de medo e angústia (FAWC, 2009). Caso a exposição das aves ao ambiente térmico externo (piquete) possa gerar alguma doença, uma terceira liberdade não é alcançada, que é permitir que os animais estejam livre de dor, lesões e doenças (FAWC, 2009).

Desta forma, a implantação de estruturas de sombreamento artificial nos piquetes pode mitigar os efeitos deletérios do ambiente térmico externo, bem como do medo de predadores (DE OLIVEIRA, 2019). Assim, o desenvolvimento de pesquisas que avaliem e comparem estruturas de sombreamento artificial construídas com diferentes materiais de cobertura, com

destaque para aqueles sustentáveis, pode ofertar enriquecimento ambiental às aves, melhorando o bem-estar e desempenho produtivo.

Destaca-se que, a implantação de diferentes estruturas de sombreamento artificial em piquetes de sistemas *free-range* para criação de galinhas poedeiras proporciona níveis diferenciados de conforto térmico às aves, visando protegê-las contra o calor excessivo, reduzindo o estresse térmico, prevenindo as queimaduras solares, evitando superaquecimento, estimulando o comportamento natural e, propiciando ainda, a manutenção da produção e a proteção contra as intempéries e possíveis predadores.

Neste contexto, objetivou-se com o presente trabalho avaliar o desempenho térmico de estruturas de sombreamento artificial em piquetes, construídas com diferentes materiais de cobertura, para serem aplicadas ao sistema *free-range* de criação de galinhas poedeiras.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Sete protótipos de estrutura de sombreamento artificial a serem usados em piquetes de sistemas *free-range* de criação de galinhas poedeiras foram construídos e instrumentados para avaliação do ambiente térmico. O experimento foi conduzido no Brasil (coordenadas geográficas de 21°14' S e de 45°00' W, a 918 m de altitude), durante a estação de verão, em condições de climáticas de tipo Cwa, caracterizado como temperado úmido com inverno seco, de acordo com a classificação de Köppen (ALVARES et al., 2013).

2.1. Protótipos de estrutura de sombreamento

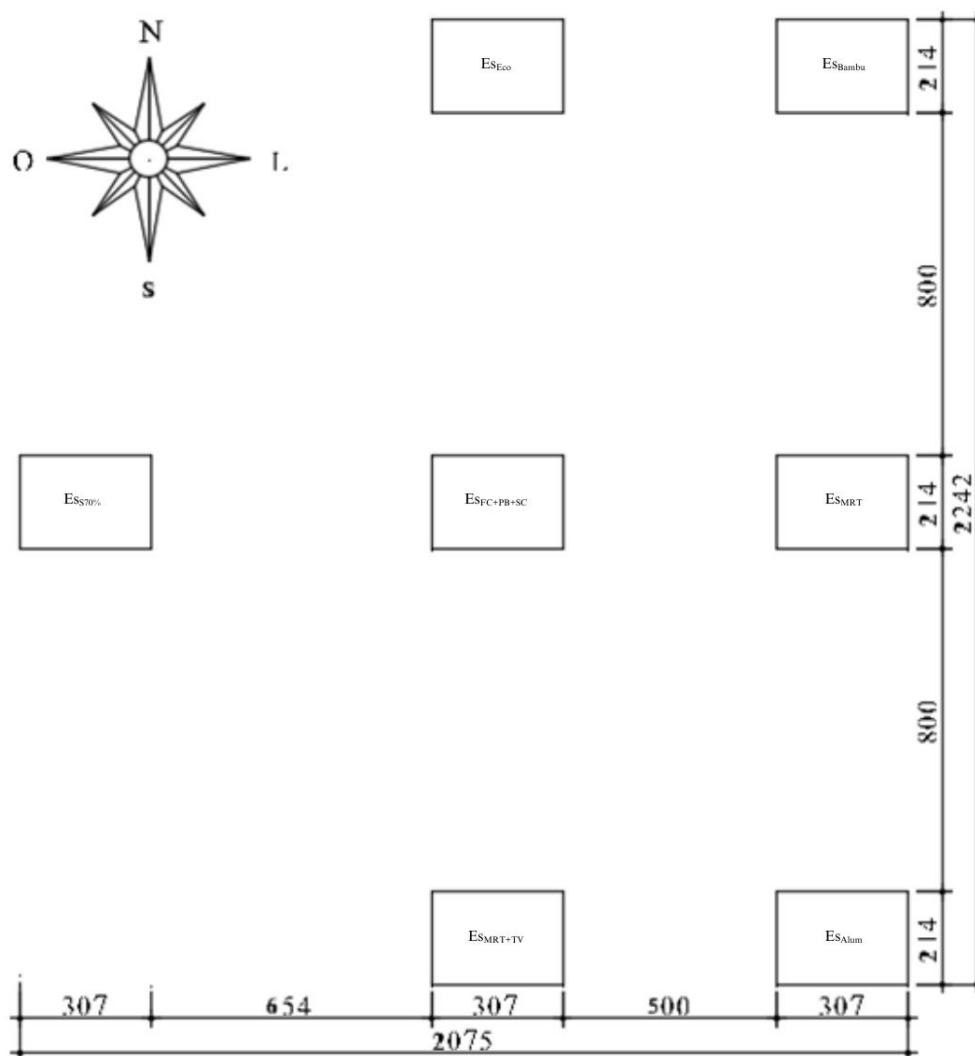
Os sete protótipos de estrutura de sombreamento artificial foram construídos com estrutura em peças de madeira roliça tratada, sendo que, em cada protótipo foi instalado um tipo de cobertura, conforme especificado na Tabela 1.

Tabela 1- Protótipos avaliados.

Código	Descrição dos protótipos
ES _{Alum}	Estrutura de sombreamento com telha de alumínio nova com 0,5 mm de espessura.
ES _{S70%}	Estrutura de sombreamento com tela de polietileno com 70% de bloqueio dos raios solares.
ES _{FC+PB+SC}	Estrutura de sombreamento com telha ondulada de 6 mm de fibrocimento, pintada de branco na superfície externa e com subcobertura construída com 4 camadas de material Tetra Pak®.
ES _{Eco}	Estrutura de sombreamento com telha ecológica comercial.
ES _{MRT}	Estrutura de sombreamento com madeira roliça tratada.
ES _{MRT+TV}	Estrutura de sombreamento com madeira roliça tratada e telhado verde.
ES _{Bambu}	Estrutura de sombreamento com bambus inteiros tratados.

Os protótipos de estruturas de sombreamento foram orientados no sentido Leste-Oeste em relação ao comprimento, sendo alocados no campo experimental conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1- *Layout* da distribuição dos protótipos no campo experimental. Unidade de cotagem: cm.

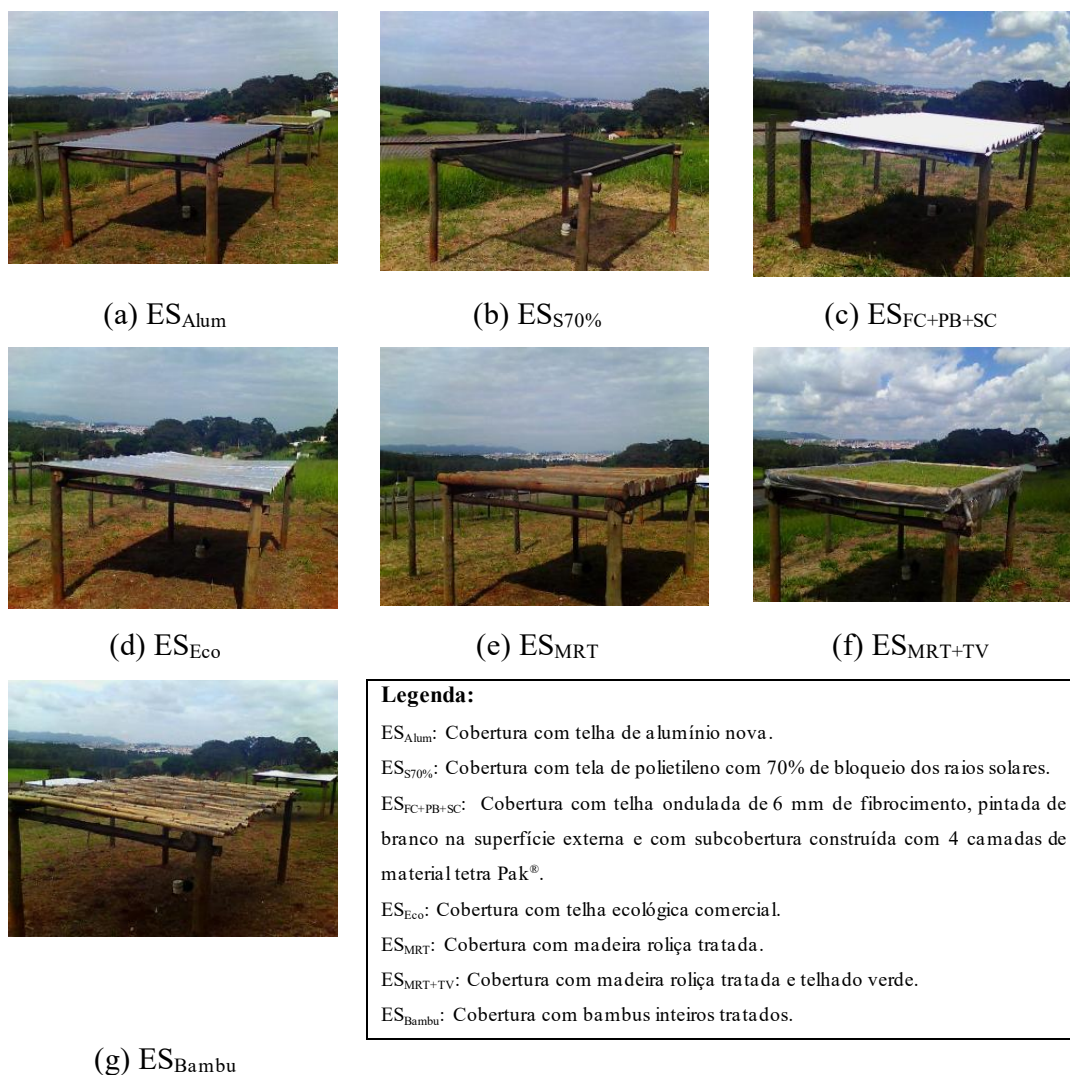


Fonte: Do autor (2025).

Cada protótipo foi construído, em escala real (1:1), com peças de madeira de eucalipto liso roliça tratadas com diâmetro médio de $0,2 \pm 0,04$ m. As dimensões de cada protótipo foram de 3 m comprimento, 2 m largura e 1,5 m de pé-direito. As dimensões horizontais proporcionaram condições para geração de sombreamento artificial para as aves de modo que o ambiente térmico pudesse ser avaliado, enquanto, o pé-direito foi estabelecido com base em diversos estudos (MENCH, 2018; DAWKINS & LAYTON, 2012; GUNNARSSON et al., 2008).

A estrutura de sombreamento com cobertura de telha de alumínio nova (Figura 2a) é considerada o tratamento testemunha nesse tipo de experimento. A estrutura de sombreamento com tela de polietileno ($ES_{S70\%}$) foi testada por ser um material comumente usado, devido ao baixo custo e facilidade de instalação (Figura 2b). A estrutura de sombreamento $ES_{FC+PB+SC}$ (Figura 2c) foi escolhida por ter baixo custo e ser fácil de ser obtida comercialmente, entretanto, devido às suas limitações térmicas, optou-se pela pintura da superfície externa na cor branca e a instalação de uma subcobertura com 4 camadas de material Tetra Pack[®]. Esse conjunto de soluções visa aumentar a resistência térmica da cobertura, adotando-se o reuso de um material amplamente descartado em residências, comércios e indústria. A estrutura de sombreamento com telhas ecológicas (Figura 2d) usa um tipo de telha comercial sustentável, uma vez que a telha é construída com material reciclado. As coberturas construídas com peças de madeira roliça e bambus tratados (Figuras 2e e 2g, respectivamente) referem-se a materiais amplamente encontrados nas áreas rurais. E, por fim, o telhado verde (Figura 2f) é preconizado como uma das soluções de destaque para aprimoramento do ambiente térmico, entretanto, tem-se a necessidade de manejo mais apurado.

Figura 2- Protótipos das estruturas de sombreamento artificial avaliadas. Fonte: Do autor (2025).



2.2. Instrumentação e medições

O ambiente térmico externo e no interior dos protótipos de estruturas de sombreamento artificial foram avaliados por meio das variáveis temperatura de bulbo seco do ar (t_{bs}), umidade relativa do ar (UR), velocidade do ar (V) e temperatura do globo negro (t_{gn}). As temperaturas superficiais sobre ($t_{sup,ext}$) e sob ($t_{sup,int}$) a cobertura de cada protótipo, além das temperaturas superficiais das áreas do terreno sombreadas ($t_{sup,somb}$) e não sombreadas ($t_{sup,nsomb}$) foram mensuradas via termografia infravermelha.

Para a medição da t_{bs} , t_{gn} e UR foram usados sensores registradores com acurácias de $\pm 0,21$ °C, $\pm 0,35$ °C e $\pm 2,5\%$, respectivamente. Um anemômetro digital de fio quente, com acurácia de $\pm 0,3$ m s⁻¹, foi usado para a medição da velocidade do vento no ambiente externo e no

interior de cada protótipo. As temperaturas superficiais ($t_{sup,ext}$, $t_{sup,int}$, $t_{sup,somb}$ e $t_{sup,nsomb}$) foram mensuradas por meio de uma câmera termográfica com acurácia de ± 2 °C. Todos os sensores foram instalados no centro dos protótipos e a 0,3 m da superfície do terreno, conforme preconizado por diversos autores para a espécie estudada (MORAIS et al., 2020; BOTELHO et al., 2016; PEREIRA et al., 2015).

Todas as variáveis foram mensuradas durante 17 dias não consecutivos, das 10 às 15h. Esse intervalo durante o dia foi definido em função da declinação solar, visando evitar a incidência de radiação solar direta sobre os sensores instalados nos protótipos. Ademais, esses horários se caracterizam por serem os mais quentes ao longo do dia. Os intervalos de coleta para as variáveis do ambiente térmico foram de 15 min, exceto para as temperaturas superficiais, que foram de 60 min.

2.3.Determinação dos índices de avaliação do ambiente térmico e das efetividades

A partir das variáveis relacionadas ao ambiente térmico (t_{bs} , t_{gn} , UR e V), mensuradas nos horários predeterminados, foram determinados os valores dos índices categorizados em duas classes: a) variáveis e índices que desconsideram os efeitos das radiações solar e ou térmica, que contemplam a t_{bs} (°C), o índice de temperatura e umidade (ITU, adimensional) e a entalpia (H, kJ kg⁻¹) e, b) variáveis e índices que consideram os efeitos das radiações solar e ou térmica, que contemplam a t_{gn} , o índice de temperatura do globo e umidade (ITGU, adimensional), a temperatura radiante média (TRM, K) e a carga térmica de radiação (CTR, W m⁻²). As equações 1 (THOM, 1959) e 2 (ALBRIGHT, 1990) representam os índices calculados na primeira classe. Por sua vez, as equações 3 (BUFFINGTON, 1981), 4 (SHAW, 1972) e 5 (ESMAY, 1974), referem-se aos índices considerados na segunda classe.

$$ITU = T_{bs} + 0,36 \cdot T_{po} - 330,08 \quad (1)$$

$$H = 1,006 \cdot t_{bs} + W \cdot (2501 + 1,805 \cdot t_{bs}) \quad (2)$$

$$ITGU = T_{gn} + 0,36 \cdot T_{po} - 330,08 \quad (3)$$

$$TRM = 100 \cdot \left[2,51 \cdot V^{0,5} \cdot (t_{gn} - t_{bs}) + \left(\frac{t_{gn}}{100} \right)^4 \right]^{\frac{1}{4}} \quad (4)$$

$$CTR = \sigma \cdot TRM^4 \quad (5)$$

sendo,

t_{bs} e T_{bs} : temperatura de bulbo seco do ar (°C e K, respectivamente);

t_{gn} e T_{gn} : temperatura de globo negro ($^{\circ}\text{C}$ e K , respectivamente);

T_{po} : temperatura de ponto de orvalho (K);

V : Velocidade do ar (m s^{-1}), e;

σ : constante de Stefan-Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$).

Ribeiro et al. (2020) obtiveram os seguintes limites para t_{bs} , ITU, ITGU, H e CTR que caracterizam a zona termoneutra para galinhas poedeiras com base na frequência respiratória, cujos valores são de $25,9$ a $29,9^{\circ}\text{C}$, 67 a 75 , 68 a 73 , 45 a $56 \text{ kJ kg}_{\text{ar seco}}^{-1}$ e $441,7$ a $465,6 \text{ W m}^{-2}$, respectivamente.

A efetividade de cada estrutura de sombreamento testada em função dos valores de ITGU (MORAES, 1999) foi determinada pela equação 6. Nos cálculos, todas as medições devem ser realizadas ao nível das aves, para cada estrutura de sombreamento que corresponde a um tratamento, ao sol e padrão (telha de alumínio nova), nos horários de 10 às 15h.

$$\epsilon = \frac{\text{ITGU}_{\text{Sol}} - \text{ITGU}_{\text{telha testada}}}{\text{ITGU}_{\text{Sol}} - \text{ITGU}_{\text{Alum}}} \quad (6)$$

em que,

ITGU_{Sol} : ITGU determinado com base nas temperaturas de globo negro e de ponto de orvalho mensuradas ao sol;

$\text{ITGU}_{\text{Telha testada}}$: ITGU determinado com base nas temperaturas de globo negro e de ponto de orvalho mensuradas sob a cobertura avaliada.

$\text{ITGU}_{\text{Alum}}$: ITGU determinado com base nas temperaturas de globo negro e de ponto de orvalho mensuradas sob a cobertura de alumínio nova.

2.4.Delineamento experimental e análise estatística

O experimento foi estruturado utilizando o delineamento em blocos casualizados (DBC), sendo os tratamentos dispostos em esquema de parcelas subdivididas. Atribuiu-se às parcelas os protótipos de estruturas de sombreamento testados e, às subparcelas, os horários de medição. As 17 repetições foram representadas por cada dia de coleta de dados. A equação 1 representa o modelo estatístico associado ao experimento. Aplicou-se os testes de Skott-Knott, a 5% de probabilidade, para as fontes de variação qualitativas e análise de regressão para as quantitativas.

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + b_j + (\alpha b)_{ij} + \gamma_k + (\alpha\gamma)_{ik} + \epsilon_{ijk}$$

em que,

Y_{ijk} : valor observado da variável resposta, correspondente à cobertura i, bloco j e horário k;

μ : média geral (constante associada a todas as observações);

α_i : efeito fixo do i-ésimo nível do fator cobertura com $i=1, 2, 3, \dots$;

b_j : efeito aleatório do j-ésimo bloco, com $j = 1, 2, 3, \dots$, b e $b_j \sim \text{NIID}(0, \sigma_b^2)$;

$(\alpha b)_{ij}$: erro aleatório da parcela (interação cobertura x bloco, se relevante), com $\sim \text{NIID}(0, \sigma_{\text{parcela}}^2)$;

γ_k : efeito fixo do k-ésimo nível do fator horário, com $k = 1, 2, 3, \dots$;

$(\alpha\gamma)_{ik}$: efeito fixo da interação entre coberturas e horários;

ϵ_{ijk} : erro aleatório residual (dentro da subparcela) com, $\epsilon_{ijk} \sim \text{NIID}(0, \sigma^2)$;

Todas as análises foram executadas no *software* R (R Core Team, 2023).

2.5.MEV – Microscopia eletrônica de varredura

Análises de microscopia eletrônica de varredura (MEV) foram realizadas para caracterização dos materiais das coberturas, bem como para dar suporte aos comportamentos térmicos dos referidos materiais.

Para garantir a obtenção de imagens com alta resolução e fidedignidade morfológica, as amostras foram submetidas a um preparo criterioso, essencial para minimizar artefatos e otimizar a condutividade elétrica da superfície. Inicialmente, as estruturas de sombreamento foram fragmentadas manualmente com o auxílio de tesouras de precisão em dimensões compatíveis com os *stubs* metálicos (aproximadamente 1 cm²). Cada fragmento foi cuidadosamente fixado nos *stubs* utilizando fita de carbono condutiva de dupla face, assegurando o contato elétrico adequado entre a amostra e a base metálica (Figura 3).

Figura 3- Amostras fixadas nos *stubs*.



Fonte: Do autor (2025).

Posteriormente, as amostras foram submetidas ao processo de secagem em estufa do tipo ventilada, à temperatura constante de 70 °C, durante 36 horas. Essa etapa teve como objetivo promover a completa remoção da umidade residual, condição indispensável para evitar instabilidades durante a análise sob vácuo no MEV (SANTOS et al., 2020).

Após a secagem, realizou-se a etapa de metalização por pulverização catódica (*sputtering*) com ouro, utilizando um metalizador modelo Q150R ES (Quorum Technologies) (Figura 4). A metalização consistiu na deposição de uma fina camada (~10 nm) de ouro sobre a superfície das amostras, conferindo condutividade elétrica e favorecendo a dispersão dos elétrons secundários, o que aumenta o contraste e a definição das imagens obtidas (OLIVEIRA et al., 2019).

Figura 4- Amostras após metalização por pulverização catódica com ouro.



Fonte: Do autor (2025).

As análises morfológicas foram realizadas em um microscópio eletrônico de varredura (modelo Quanta 250 FEG, FEI Company). O microscópio estava equipado com fonte de emissão de campo (FEG), operando sob modo de alto vácuo, com voltagem de aceleração de 10 a 20 kV. A MEV foi utilizada com o objetivo de caracterizar a morfologia superficial das estruturas de sombreamento, permitindo observar detalhes como porosidade, distribuição de fibras, compactação e textura da superfície, informações essenciais para a avaliação da funcionalidade térmica e física desses materiais.

A metodologia adotada está de acordo com protocolos descritos por diversos autores (Cunha et al., 2018; Oliveira et al., 2019; Santos et al., 2020), que utilizaram a MEV para análise estrutural de materiais de origem vegetal e sintética aplicados em contextos de isolamento térmico e conforto ambiental.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises do ambiente térmico em estruturas de sombreamento artificial, construídos com diversos tipos de materiais de cobertura, para uso em piquetes de sistemas de criação de galinhas poedeiras do tipo *free-range* foram divididas em dois grupos: (a) desconsiderando os efeitos das radiações solar e ou térmica e, (b) considerando as referidas radiações.

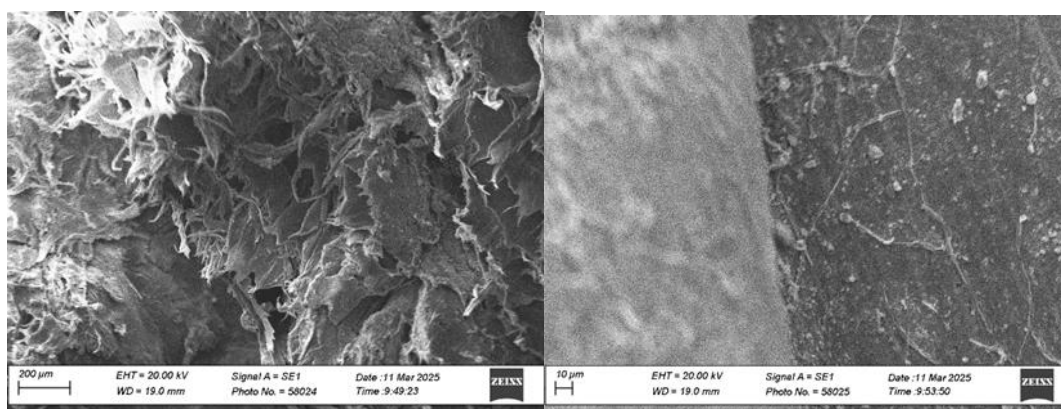
Para todas as análises de variância, exceto para V, as interações entre os tipos de materiais de cobertura usados nas estruturas de sombreamento artificial e os horários de mensuração foram significativas (teste F, $P < 0,05$). Desta forma, apenas o desdobramento estrutura de sombreamento dentro de cada horário de mensuração foi considerando devido ao interesse prático da informação. Para a variável V, apenas o dia de cada coleta foi significativo (teste F, $P < 0,05$), sendo, também, descartado devido aos interesses práticos. Desta forma, apenas as informações relativas aos valores médios de V foram reportadas.

3.1.Caracterização morfológica das coberturas por MEV

A MEV foi utilizada para analisar as superfícies das coberturas de sombreamento, permitindo a observação de suas características morfológicas e estruturais, como disposição das fibras, porosidade e presença de falhas. Esses aspectos são determinantes para as propriedades térmicas e para a durabilidade dos materiais, uma vez que influenciam diretamente a absorção, dissipação e retenção de calor.

A microestrutura da cobertura ES_{Eco} (Figura 5) apresenta fibras com alta porosidade e distribuição irregular. As fibras entrelaçadas indicam origem natural, como celulose ou resíduos lignocelulósicos (ISO 21930; ASTM E2921). A presença de fibras expostas e regiões colapsadas sugere processamento envolvendo prensagem ou secagem, resultando em cavidades e poros que tornam o material leve e com propriedades de isolamento térmico e acústico (EMBRAPA, 2023).

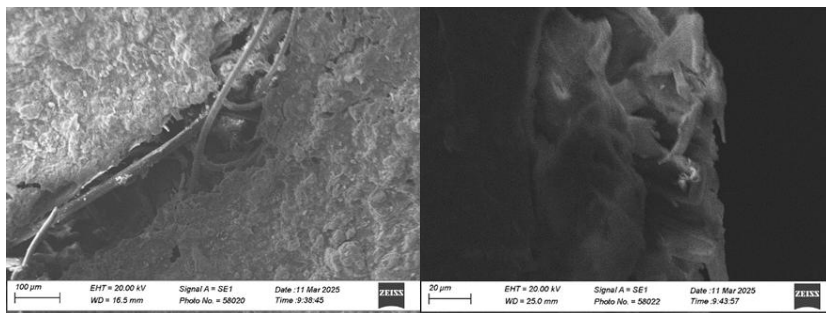
Figura 5 - Imagem de microscopia eletrônica de varredura do material telha ecológica usado na estrutura de sombreamento artificial (ES_{Eco}).



Fonte: Do autor (2025).

A imagem da cobertura $ES_{FC+PB+SC}$ (Figura 6) revela uma matriz cimentícia reforçada por fibras alongadas parcialmente inseridas na matriz. Observa-se a presença de falhas adesivas na interface fibra-matriz, microfissuras e poros, características que podem comprometer a durabilidade e a resistência mecânica (ABNT NBR15495:2006; ASTM C1181-14). A pintura branca aplicada na superfície externa contribui para o aumento da refletividade, favorecendo o desempenho térmico, como relatado em outros estudos (ANDRADE & CARASEK, 2013; ALMEIDA & AGOPYAN, 2013; GIVONI, 1998).

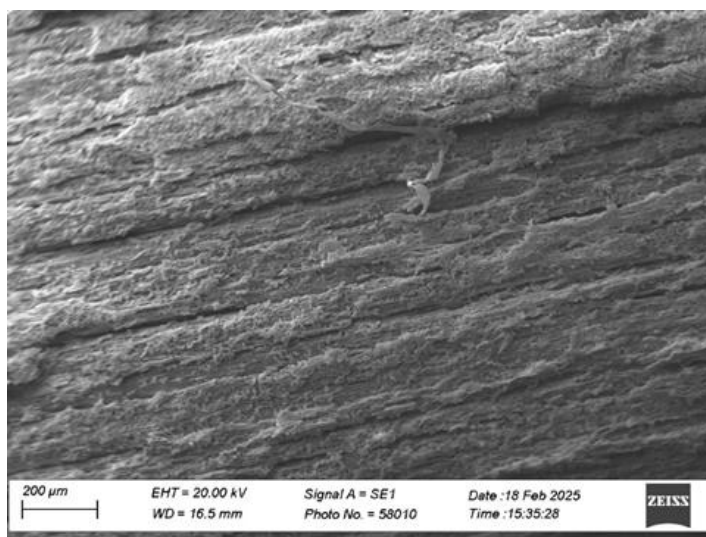
Figura 6 - Imagem de microscopia eletrônica de varredura do material usado na estrutura de sombreamento com telha ondulada de 6 mm de fibrocimento, pintada de branco na superfície externa e com subcobertura construída com 4 camadas de material Tetra Pak® (ES_{FC+PB+SC}).



Fonte: Do autor (2025).

A microestrutura da madeira usada na ES_{MRT} (Figura 7), apresenta organização em camadas longitudinais, típica da estrutura fibrosa. As fibras e vasos lenhosos conferem resistência mecânica, enquanto a superfície rugosa com sulcos sugere corte na direção das fibras (PANSIN & DE ZEEUW, 1980; FOREST PRODUCTS LABORATORY, 2010). Fragmentos soltos observados podem estar associados à exposição ambiental prolongada (IAWA COMMITTEE, 1989).

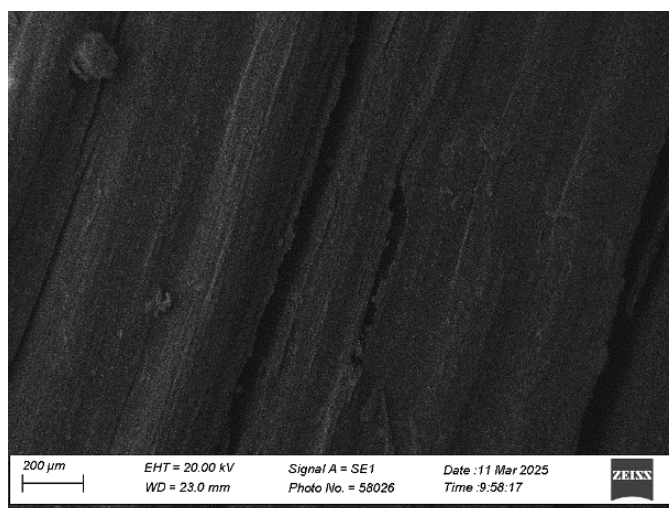
Figura 7 -Imagem de microscopia eletrônica de varredura do material usado na estrutura de sombreamento com madeira roliça tratada (ES_{MRT}).



Fonte: Do autor (2025).

A microestrutura do bambu (Figura 8), apresenta fibras orientadas longitudinalmente, com feixes organizados que conferem alta resistência e leveza. Fissuras longitudinais, comuns em processos de secagem, foram identificadas, mas a estrutura fibrosa densa garante resistência mecânica e favorece a dissipação térmica (AMADA et al., 1997; JANSSEN, 2000; LIESE & TANG, 2015).

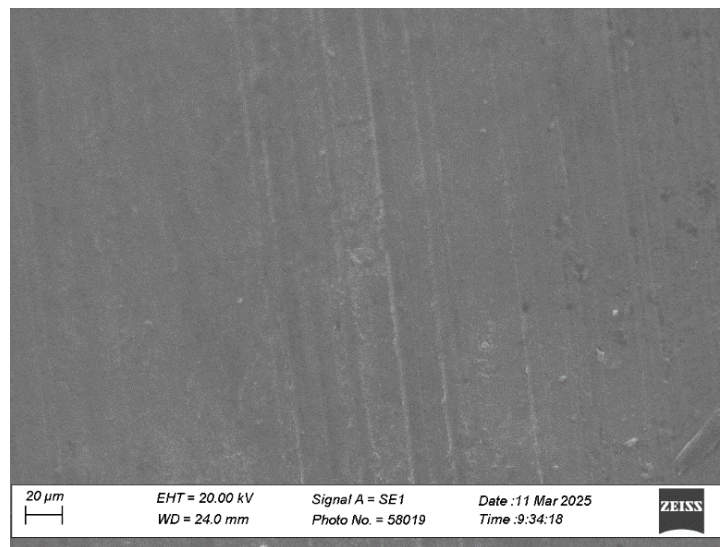
Figura 8 - Imagem de microscopia eletrônica de varredura do material usado na estrutura de sombreamento com bambus inteiros tratados (ES_{Bambu}).



Fonte: Do autor (2025).

A imagem do alumínio (Figura 9) apresenta superfície com estrias lineares e paralelas, típicas de usinagem, sem poros relevantes ou trincas, indicando elevada integridade estrutural (CALLISTER & RETHWISCH, 2012). Pequenas partículas dispersas sugerem contaminações superficiais (ASM INTERNATIONAL, 2002). O material apresenta alta refletividade e baixa emissividade, características relevantes para reduzir a absorção e emissão de radiação solar (GHIAI & OLIVEIRA, 2010; GIVONI, 1998).

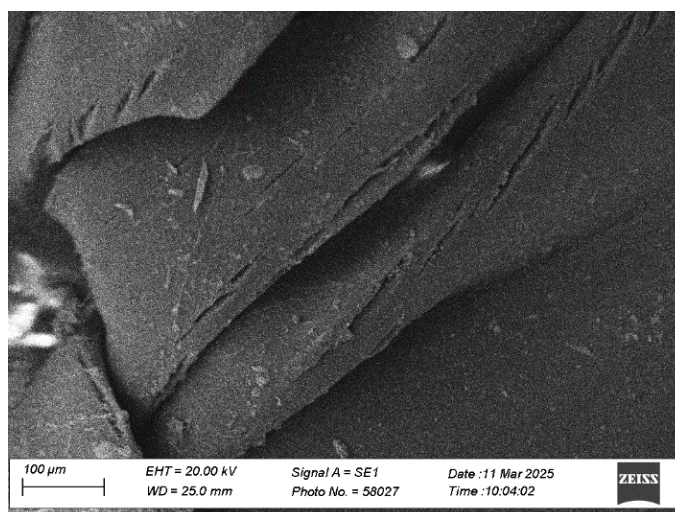
Figura 9 - Imagem de microscopia eletrônica de varredura do material usado na estrutura de sombreamento com telha de alumínio nova com 0,5 mm de espessura (ES_{Alum}).



Fonte: Do autor (2025).

A imagem de MEV da tela de polipropileno $ES_{S70\%}$ (Figura 10) apresenta filamentos extrudados com sulcos longitudinais, associados ao processo de fabricação (STRONG, 2006). Pequenas rugosidades e arranhões podem estar relacionados ao desgaste e ao envelhecimento ambiental (RAUWENDAAL, 2014). Apesar da resistência inicial, a exposição prolongada à radiação pode comprometer sua durabilidade (RIBEIRO et al., 2019). A estrutura em trama permite a passagem parcial da radiação solar, reduzindo a eficiência de sombreamento, mas favorecendo a ventilação e o controle de umidade do solo.

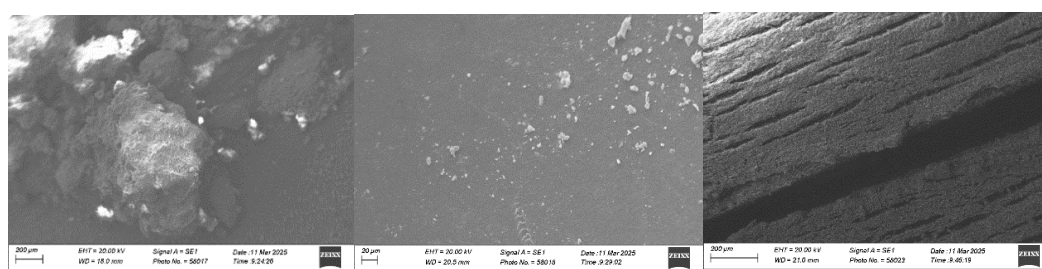
Figura 10 - Imagem de microscopia eletrônica de varredura do material usado na estrutura de sombreamento com tela de polietileno com 70% de bloqueio dos raios solares (ES_{S70%}).



Fonte: Do autor (2025).

A ES_{MRT+TV} (Figura 11) composta por terra, grama, lona e madeira roliça tratada, apresenta partículas irregulares e rugosas, com indícios de microtrincas e poros. A presença de partículas menores e brilhantes pode estar associada a contaminantes ou artefatos de carga (REED, 2005; GUO et al., 2017). Essa composição confere ao material elevada capacidade de retenção térmica, combinada ao efeito de evapotranspiração da vegetação.

Figura 11 - Imagem de microscopia eletrônica de varredura do material usado na estrutura de sombreamento com madeira roliça tratada e telhado verde (ES_{MRT+TV}).



Fonte: Do autor (2025).

De modo geral, as análises morfológicas evidenciaram que superfícies mais complexas, com rugosidade acentuada, presença de múltiplas camadas, fibras vegetais e cavidades internas, estão associadas a maior potencial de dissipação do calor e maior resistência térmica. Já superfícies mais lisas e homogêneas tendem a refletir ou conduzir a radiação de maneira

distinta, dependendo de suas propriedades físico-químicas. Esses resultados reforçam a importância da caracterização microestrutural na seleção de materiais destinados ao sombreamento em sistemas de criação ao ar livre.

3.2. Análises desconsiderando os efeitos das radiações solar e térmica

Para a realização das análises suprimindo as radiações solar e ou térmicas foram consideradas as variáveis meteorológicas t_{bs} , UR e V, o índice de avaliação do ambiente térmico, ITU; e a propriedade termodinâmica do ar, H.

Desta forma, por meio dos desdobramentos analisados considerando a t_{bs} , o ITU e a H, observou-se, no geral, que a estrutura de sombreamento ES_{Bambu} proporcionou os melhores ambientes térmicos (t_{bs} variando de 26,5 °C a 30,5 °C), seguido pela ES_{MRT+TV} (t_{bs} variando de 27,3 °C e 31,3 °C). As estruturas de sombreamento ES_{MRT} , ES_{Eco} e ES_{Alum} apresentaram comportamentos térmicos intermediários. Enquanto, $ES_{FC+PB+SC}$ (t_{bs} variando de 28,2 °C a 32,8 °C), $ES_{S70\%}$ (t_{bs} variando de 29,2 °C e 34,8 °C) e ambiente externo (AE) (t_{bs} variando de 29,7 °C e 35,3 °C), mostraram-se mais termicamente desconfortáveis para as aves, seguindo a sequência reportada, da menos para a mais desconfortável. Esses resultados estão associados às características morfológicas reveladas pela MEV: no caso do bambu, a estrutura fibrosa longitudinal e a presença de feixes densos favoreceram a dissipação térmica; já o telhado verde combinou camadas heterogêneas e processos de evapotranspiração, ampliando sua capacidade de moderação do microclima.

Os valores de t_{bs} para ES_{Bambu} e ES_{MRT+TV} estão minoritariamente em conformidade com as recomendações de conforto térmico para galinhas poedeiras, que preconizam temperaturas ideais variando entre 24 °C e 28 °C (Silva et al., 2021) e, pelo menos durante a metade do período avaliado (10:00 às 12:30h) quando se considera o intervalo de 25,9 a 29,9 °C (Ribeiro et al., 2020). Valores de t_{bs} superiores a 30 °C podem reduzir em até 15% a taxa de postura e comprometer a qualidade dos ovos, principalmente no que se refere à espessura da casca, que se torna mais frágil em ambientes estressantes (OLIVEIRA et al., 2019).

Proporcionar ambiente térmico adequando às aves, maximiza o bem-estar e a produtividade dos animais, garantindo a homeostase fisiológica e a manutenção da produtividade (SILVA et al., 2021). Desta forma, o controle da temperatura corporal das aves é crucial, pois temperaturas mais elevadas aumentam a frequência respiratória das aves, o que pode causar desidratação, redução no consumo de ração e consequente queda na produção de ovos (BRAGA et al., 2024).

Ressalta-se ainda, que a oferta de sombreamento, seja natural ou artificial, para galinhas poedeiras durante o acesso ao piquete é essencial para mitigar o desconforto térmico nos períodos do dia em que o ambiente térmico se torna estressante para as aves (KIM et al., 2024; CORNESCU et al., 2023; BRUGALETTA et al., 2022), além de poder mitigar o desconforto devido ao medo de ataque de predadores (MAZOCCO et al., 2024; BONNEFOUS et al., 2022).

No geral, os valores de UR foram menores no ambiente externo (de 40,3 a 59,0% e média de $49,7 \pm 9,4\%$), seguido pelos valores observados sob as coberturas de tela de polietileno 70% (45,3 a 65,0% e média de $55,2 \pm 9,9\%$) e alumínio (45,1 a 67,2% e média de $56,2 \pm 11,1\%$). Em seguida, verificou-se que as coberturas de telhas ecológica e madeira roliça tratada apresentaram valores de UR variando de 50,9 a 69,7, com média de $60,3 \pm 9,4\%$. Os maiores valores de UR foram observadas nas coberturas de fibrocimento (54,6 a 71,0% e média de $62,8 \pm 8,2\%$), bambu e telhado verde (51,2 a 69,7% e média de $60,5 \pm 9,3\%$, ambos). Valores de UR variando de 50 a 70% são considerados ideais para criação de galinhas poedeiras, conforme preconizado por diversos autores (KUÇUKTOPÇU, CEMEK & SIMSEK, 2024; SANTOS et al., 2023; MASCARENHAS et al., 2022). A análise morfológica das coberturas ESMRT+TV e ESMRT evidenciou superfícies rugosas e multicamadas, capazes de reter umidade e auxiliar no microclima mais estável. Desta forma, as estruturas de sombreamento, proporcionaram, no geral, valores de UR dentro ou muito próximos do intervalo considerado como adequado para criação de galinhas poedeiras.

Por sua vez, reforça-se que para a variável V, tanto as estruturas de sombreamento, bem como a interação deste fator com os horários de mensuração não foram significativos (teste F, $p > 0,05$). Os valores médios de V, medidos sob cada uma das estruturas de sombreamento, foram de $0,39 \pm 0,81 \text{ m s}^{-1}$. Este resultado indica que os efeitos do vento sobre os ambientes térmicos sob as estruturas de sombreamento foram idênticos. Sendo assim, qualquer variação do ambiente térmico deveu-se exclusivamente aos efeitos da t_{bs} , UR e radiação solar e ou térmica.

Os intervalos de valores médios observados de ITU para ES_{Bambu} , $ES_{\text{MRT+TV}}$, ES_{MRT} , ES_{Eco} , ES_{Alum} , $ES_{\text{FC+PB+SC}}$ e $ES_{70\%}$ foram de 75,4 a 79,2, 76,4 a 80,0, 73,3 a 80,8, 76,1 a 80,2, 76,0 a 80,6, 77,9 a 82,0, 78,6 a 83,8, respectivamente. Ribeiro et al. (2020) reportaram que o intervalo de conforto para o ITU, calculado com base na frequência respiratória das aves, varia de 67 a 75. Este resultado permite inferir que na maioria absoluta do tempo, das 10h às 15h, as estruturas de sombreamento testadas não foram suficientes para garantir condições de conforto térmico para as aves. Valores elevados de t_{bs} associados à exposição direta à radiação solar,

situações representadas pelo ambiente externo e $ES_{S70\%}$, aumentam significativamente os riscos de redução na produção de ovos e na qualidade das cascas, além da ocorrência de casos de hipertermia na ocorrência de condições térmicas mais intensas (LOURENÇO et al., 2019). Entretanto, as estruturas de sombreamento foram capazes de amenizar o desconforto térmico em relação ao ambiente externo, cujo intervalo observado de ITU foi de 78,6 a 83,8. A análise de MEV confirma que a trama do polipropileno permite a passagem parcial da radiação, aumentando a carga térmica sobre os animais, ao contrário do alumínio, cuja baixa emissividade reduziu parcialmente a absorção de calor, mas sem eliminar o desconforto devido à elevada condutividade térmica.

Por sua vez, os intervalos de valores médios observados de H para ES_{Bambu} , ES_{MRT+TV} , ES_{MRT} , ES_{Eco} , ES_{Alum} , $ES_{FC+PB+SC}$ e $ES_{S70\%}$ foram de 65,9 a 68,7, 68,0 a 69,0, 67,9 a 70,2, 67,0 a 70,1, 66,0 a 67,6, 73,4 a 74,5 e 71,8 a 75,1, respectivamente. Considerando que o intervalo de H variando de 45 a 56 kJ kg_{ar}^{-1} , indica condições de conforto térmico (Ribeiro et al., 2020), novamente, nenhuma das estruturas de sombreamento foi capaz de proporcionar conforto térmico às aves. Os resultados de MEV ajudam a explicar diferenças entre os materiais: enquanto a alta porosidade da ES_{Eco} e a heterogeneidade da $ES_{FC+PB+SC}$ favoreceram o isolamento térmico, falhas adesivas e poros observados comprometeram a durabilidade e reduziram a eficiência térmica a longo prazo.

Condições que induzem o estresse térmico afetam negativamente o comportamento alimentar das aves, reduzindo a ingestão de nutrientes e comprometendo a qualidade e quantidade da produção de ovos (OLIVEIRA et al., 2019). O aumento do consumo de água e a respiração ofegante são respostas típicas ao calor excessivo, o que também afeta o balanço eletrolítico e aumenta o risco de mortalidade em galinhas poedeiras (SANTOS et al., 2023).

Ressalta-se que, apesar dos resultados obtidos apresentarem coerência, a análise das variáveis térmicas (t_{bs} , UR e V) de forma isolada apresenta limitações, pois essas variáveis, entre outras, estão estreitamente relacionadas. Por sua vez, tanto o ITU, quanto a H, desconsidera os efeitos da velocidade do ar e da radiação solar e ou térmica. Em relação à velocidade do ar, conforme reportado anteriormente, não se observou diferenças estatísticas entre as diversas estruturas de sombreamento testadas. Mas, as radiações solares e ou térmicas podem influenciar os resultados das análises, portanto, devem ser consideradas. O cruzamento dos resultados da MEV com os parâmetros térmicos evidencia, portanto, a importância da

escolha criteriosa dos materiais de sombreamento para o manejo adequado de galinhas poedeiras em sistemas *free-range*.

3.3. Análises considerando as radiações solar e térmica

O sistema de criação *free-range* oferece vantagens significativas em relação ao bem-estar das aves quando bem manejados. A presença de estruturas de sombreamento adequadas permite que as aves expressem comportamentos naturais, como ciscar e tomar banhos de sol controlados, melhorando seu estado de bem-estar geral e reduzindo o estresse (SILVA et al., 2021). Assim, a correta avaliação do ambiente térmico sob as estruturas de sombreamento ofertadas às aves é primordial.

Em ambientes externos ou protegidos sujeitos a altos valores de temperatura do ar e de radiação solar e ou térmica, como aqueles observados em regiões tropicais, recomenda-se o uso de índices de avaliação do ambiente térmico que considerem os efeitos da radiação solar e ou térmica. Neste contexto, um dos índices que tem se mostrado adequado até os dias atuais é o ITGU (PENH et al., 2024; JUIPUTTA, CHANKITISAKUL & BOONKUM, 2023; MBUTHIA, EGGERT & REINSCH, 2022; VANDANA et al., 2021). Entretanto, existem outras metodologias que também consideram esta variável, como a E_{ITGU} , TRM e CTR, que têm sido amplamente usadas (KANG et al., 2023; LACHAPELLE et al., 2022; RYKACZEWSKI, VANOS, MIDDEL, 2022).

No geral, considerando os resultados das análises estatísticas realizadas nesta pesquisa, para as variáveis ITGU, E_{ITGU} , TRM e CTR (Figuras 12, 13, 14 e 15, respectivamente), pôde-se delinear os comportamentos térmicos sob as estruturas de sombreamento avaliadas. Assim, as estruturas de sombreamento ES_{MRT+TV} , ES_{MRT} e $ES_{FC+PB+SC}$ foram similares e se destacaram em relação aos outros tipos de coberturas. Posteriormente, observou-se comportamentos térmicos intermediários para ES_{Bambu} , ES_{Eco} e ES_{Alum} . O pior comportamento térmico foi verificado para $ES_{S70\%}$.

A implementação de estruturas de sombreamento artificial, com coberturas que propiciem melhores desempenhos térmicos, resultam em ambientes térmicos mais confortáveis às aves (CARVALHO et al., 2021). Esse desempenho pode estar relacionado às propriedades físicas e estruturais dos materiais, analisadas também por meio de MEV. As imagens obtidas evidenciaram diferenças marcantes na microestrutura das coberturas, que ajudam a explicar os comportamentos térmicos observados em campo.

Esse ambiente térmico aprimorado pode ser obtido pela escolha de materiais que propiciem o bloqueio total da radiação solar direta e que tenham propriedades térmicas adequadas, em especial, a resistência térmica e o retardo térmico. Neste contexto, as estruturas de sombreamento ES_{MRT+TV} , ES_{MRT} e $ES_{FC-PB+SC}$ apresentaram desempenho superior em relação as demais estruturas avaliadas, corroborando com as literaturas previamente citadas.

As amostras de ES_{MRT+TV} e ES_{MRT} , a MEV revelaram superfícies densas, homogêneas e com baixas porosidade, características que favorecem a resistência térmica e o retardo na transferência de calor. Já no caso da $ES_{FC-PB+SC}$, a análise demonstrou uma estrutura multicamadas, com fibras vegetais entrelaçadas e presença de cavidades microscópicas que aumentam a difusão de calor e auxiliam no isolamento térmico.

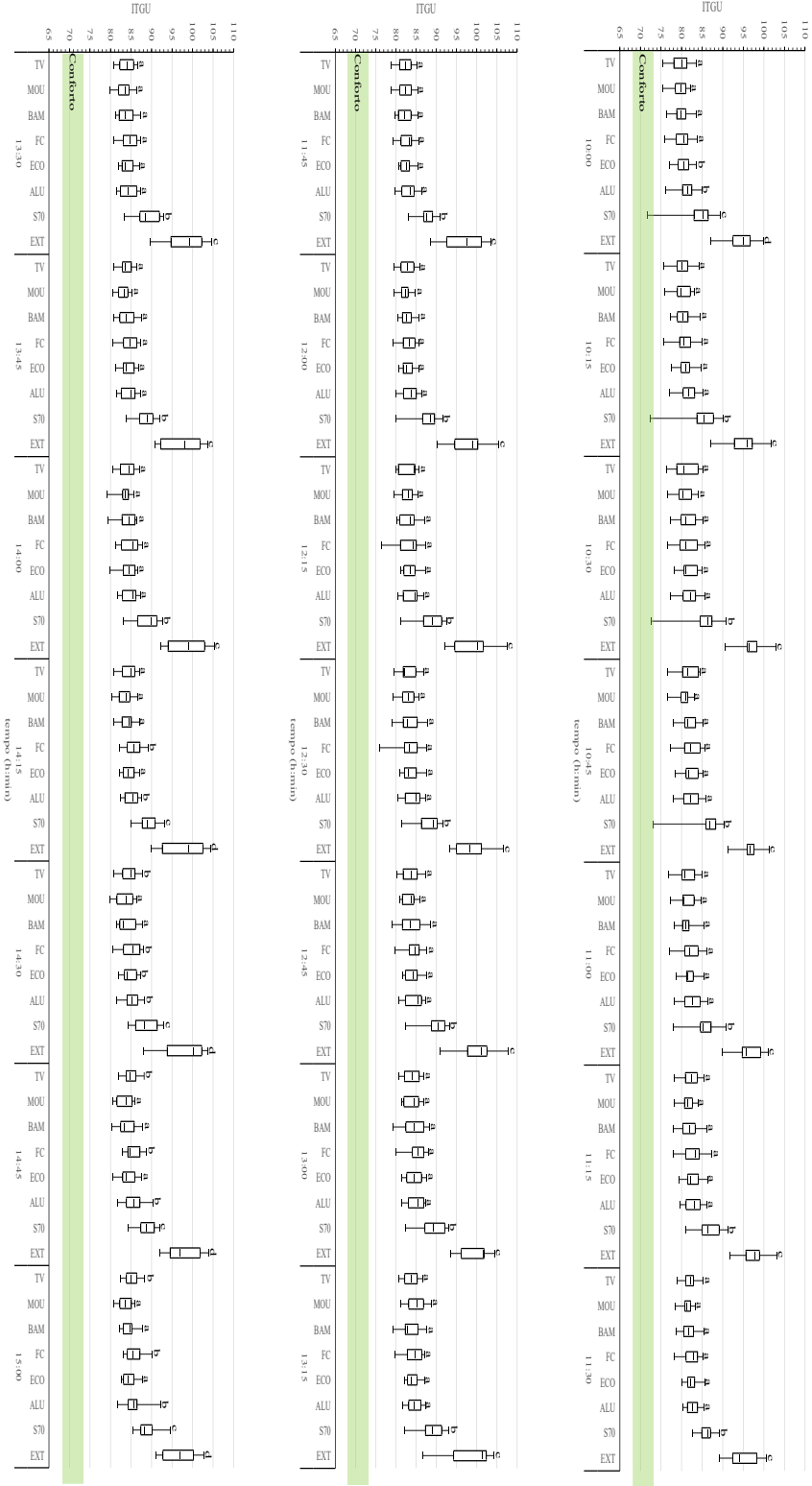
Embora as estruturas de sombreamento artificial ES_{MRT+TV} , ES_{MRT} e $ES_{FC-PB+SC}$ exijam um investimento inicial maior, sua durabilidade, eficiência térmica e benefícios ecológicos os tornam opções sustentáveis a longo prazo. Ademais, a adoção destas tecnologias de sombreamento pode reduzir os custos com saúde animal e aumentar a produtividade (CARVALHO et al., 2021).

As estruturas de sombreamento que apresentaram comportamentos térmicos intermediários (ES_{Bambu} , ES_{Eco} e ES_{Alum}) obtiveram esses resultados devido às características dos materiais. Dentre as características do bambu, presente na ES_{Bambu} , destaca-se a condutividade térmica 15% e 25% menor que a da madeira para as transmissões de calor radial e longitudinal (SANTOS, 2020), respectivamente. O bambu além de possuir resistência térmica baixa, apresenta uma camada de ar que favorece o isolamento térmico. A ES_{Eco} é composta por um conjunto de materiais reaproveitados, e, em especial, o material Tetra Pack® que tem características de isolamento térmico. Por sua vez, a ES_{Alum} nova apesar de possuir alto valor de condutividade térmica, apresenta alto valor de refletividade, acima de 80% (ABAL, 2023), auxiliando para estabelecer um comportamento térmico intermediário.

Para a ES_{Bambu} , a MEV mostrou fibras longitudinais ocas, responsáveis pela presença de bolsões de ar, que funcionam como barreiras naturais à condução térmica. Já a ES_{Eco} , composta por materiais reaproveitados como o Tetra Pack®, apresentou superfície heterogênea com regiões lamelares e microporos, reforçando seu potencial isolante. No caso da ES_{Alum} , a MEV evidenciou uma superfície lisa e contínua, de alta refletividade, explicando seu comportamento intermediário. Por outro lado, a $ES_{S70\%}$ apresentou elevada porosidade e irregularidades que favoreceram a passagem de radiação solar, justificando seu pior desempenho.

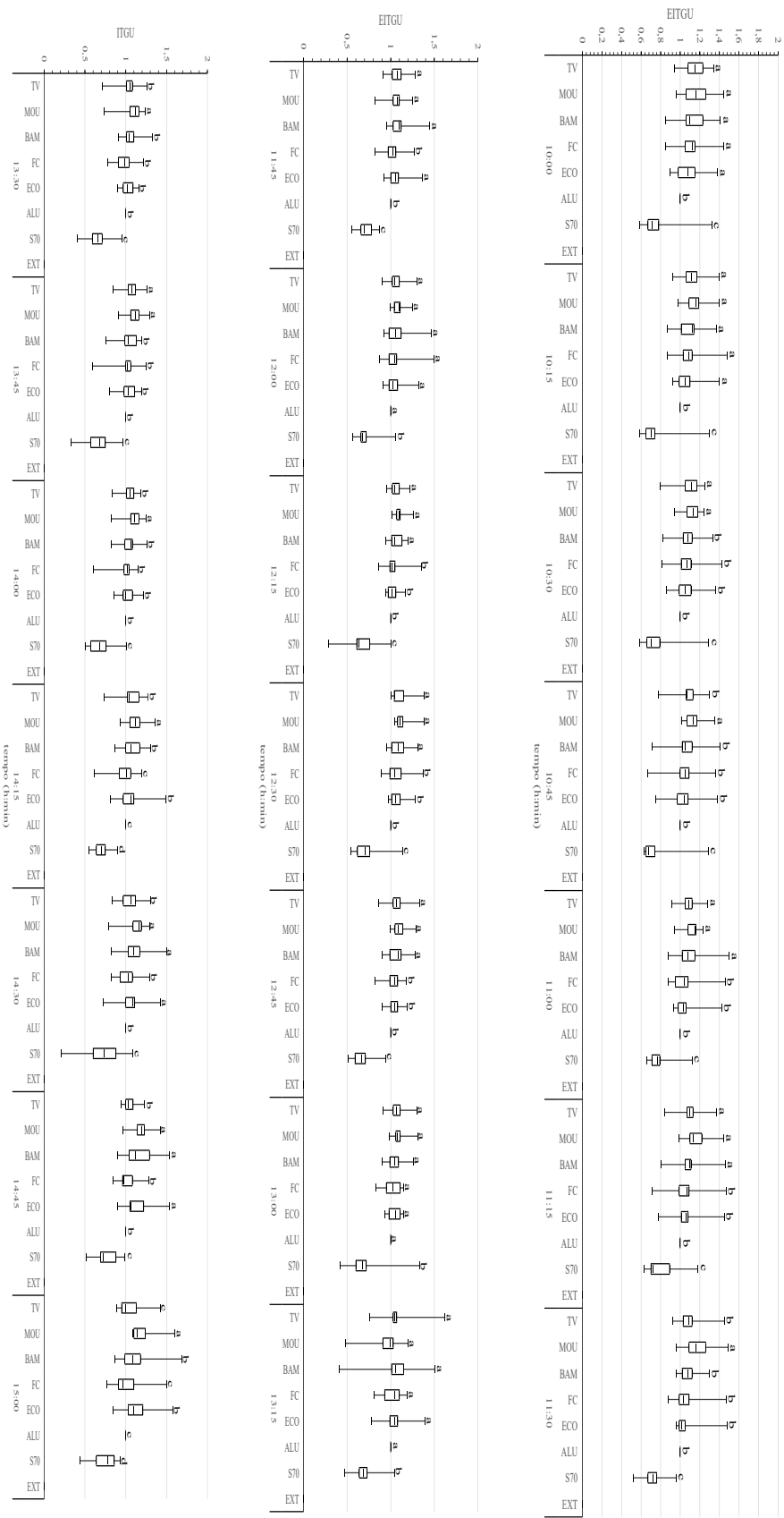
As reduções de CTR observadas sob as estruturas de sombreamento ES_{Alum} , $ES_{S70\%}$, $ES_{FC+PB+SC}$, ES_{Eco} , ES_{MRT} , ES_{MRT+TV} , ES_{Bambu} , em relação ao ambiente externo foram de 24,45%, 20,36%, 27,55%, 26,04%, 28,33%, 26,40%, 25,51%, respectivamente. Essas reduções evidenciam o desempenho termo ambiental dos materiais testados, com destaque para aqueles que combinam propriedades reflexivas, isolantes e de origem natural. A $ES_{FC+PB+SC}$, apresentou a segunda maior redução de CTR, demonstrando a eficácia de sistemas compostos com camadas complementares na atenuação térmica. O uso de ES_{MRT+TV} e ES_{Eco} se mostrou eficiente na moderação térmica, devido à baixa condutividade térmica dos materiais e ao aumento da massa térmica e evapotranspiração, respectivamente. Materiais naturais como o ES_{Bambu} e ES_{MRT} também mostraram desempenho satisfatório, indicando o potencial de soluções construtivas sustentáveis e de baixo impacto ambiental para atenuar o estresse térmico em ambientes rurais. Esses resultados corroboram com os resultados de Oliveira et al. (2011), Silva et al. (2020) e Tulley & Nicholson (2020), que destacam a influência significativa dos materiais de cobertura no conforto térmico e no desempenho ambiental das edificações.

Figura 12 - Teste de médias aplicados aos valores de índice de temperatura do globo e umidade (ITGU) para cada cobertura e ambiente externo dentro de cada horário de mensuração dos dados (teste Scott-Knott, $p<0,05$). Intervalo de conforto térmico definido em função da frequência respiratória de acordo com Ribeiro et al. (2020).



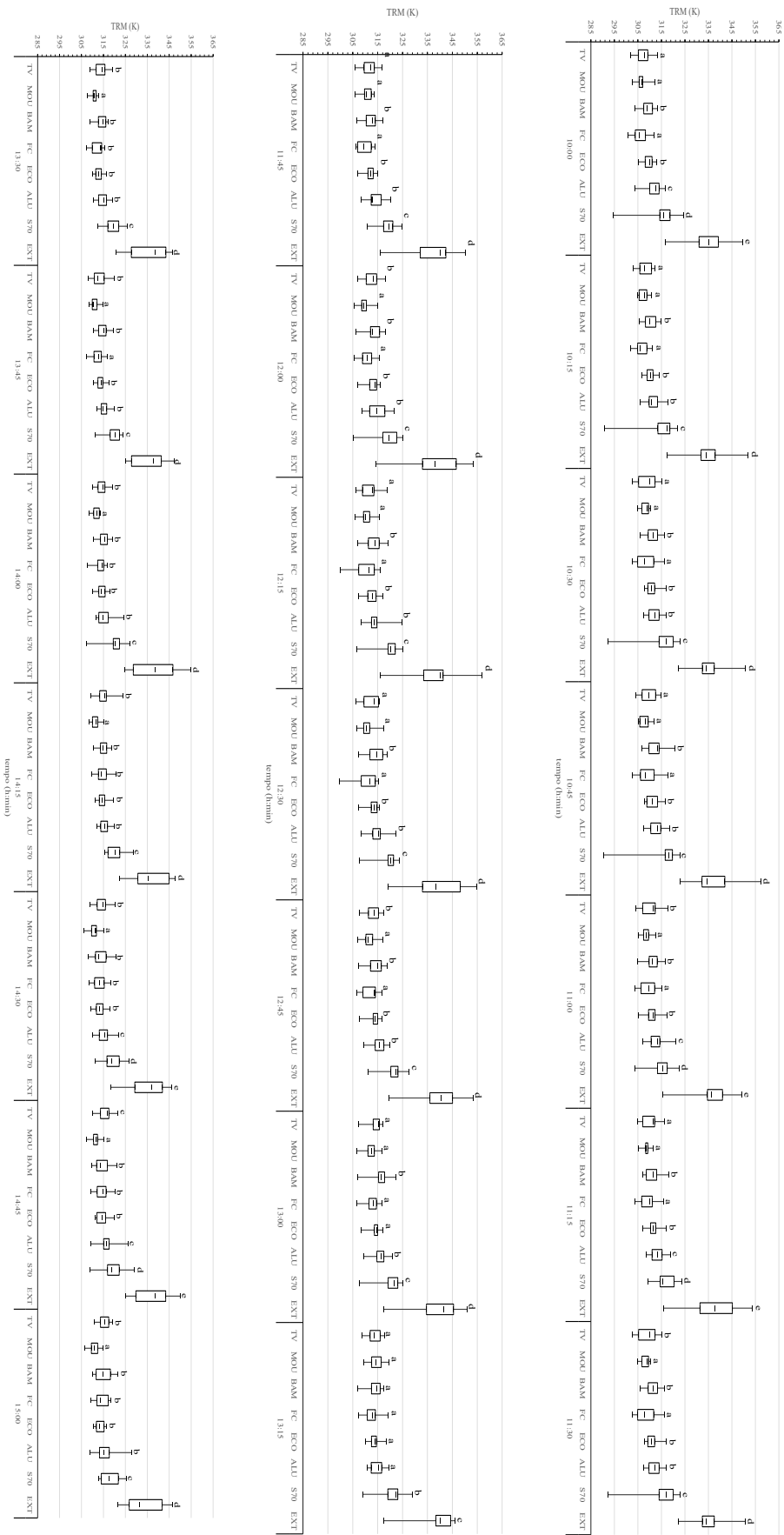
Fonte: Do autor (2025).

Figura 13 - Teste de médias aplicados aos valores de efetividade térmica baseada no índice de temperatura do globo e umidade (E_{trGU}) para cada cobertura dentro de cada horário de mensuração dos dados (teste Scott-Knott, p<0,05).



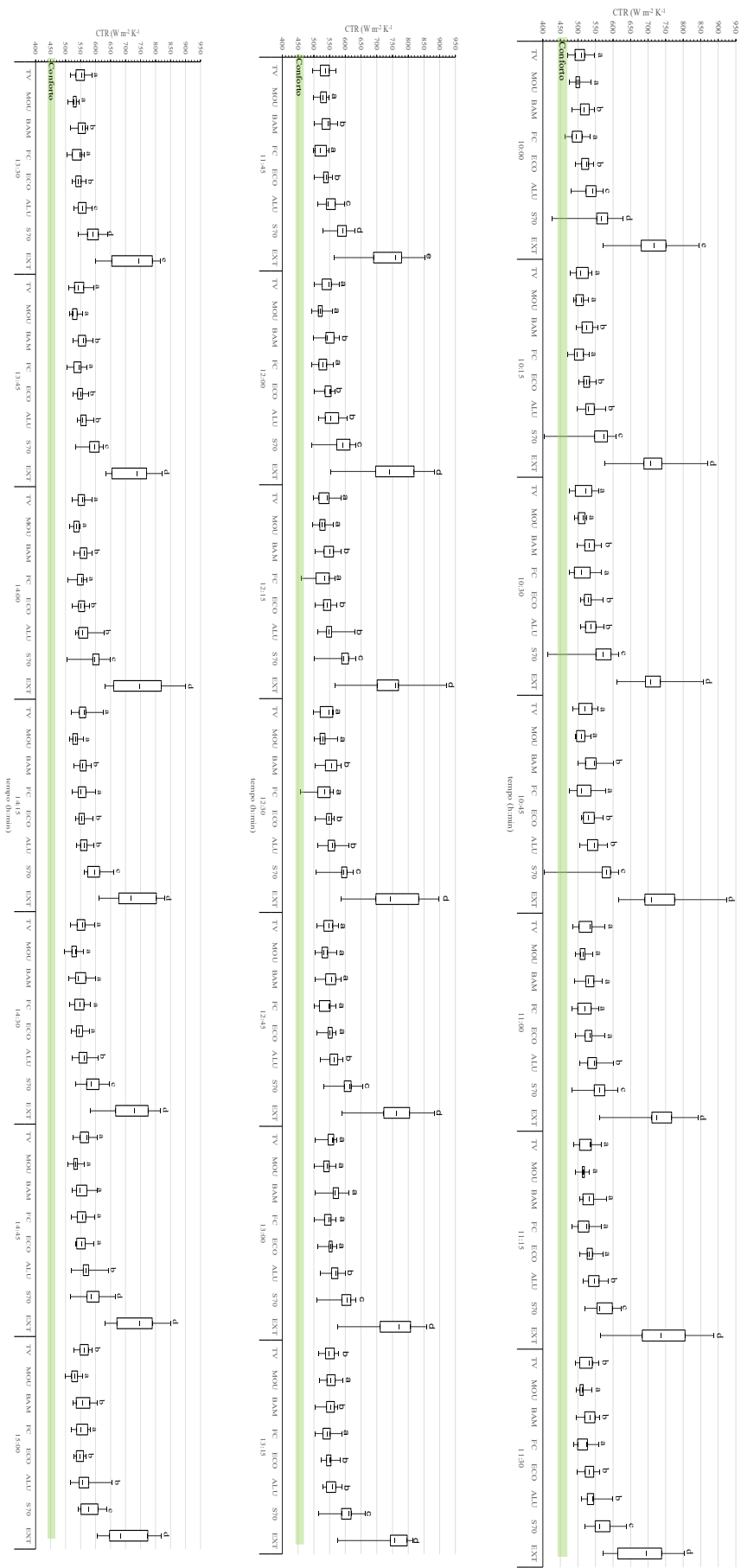
Fonte: Do autor (2025).

Figura 14 - Teste de médias aplicados aos valores de temperatura radiante média (TRM) para cada cobertura dentro de cada horário de mensuração dos dados (teste Scott-Knott, $p<0,05$).



Fonte: Do autor (2025).

Figura 15 - Teste de médias aplicados aos valores de carga térmica radiante (CTR) para cada cobertura dentro de cada horário de mensuração dos dados (teste Scott-Knott, $p < 0,05$). Intervalo de conforto térmico definido em função da frequência respiratória de acordo com Ribeiro et al. (2020).



Fonte: Do autor (2025).

A estrutura de sombreamento ES_{S70%}, embora inicialmente apresente baixo custo e seja de fácil instalação e manejo, dependendo das condições térmicas do ambiente externo, pode não fornecer as condições necessárias para maximizar o bem-estar e a produção das aves, resultando em perdas econômicas em médio e longo prazo (BRAGA et al., 2024). O baixo desempenho térmico deve-se ao bloqueio parcial da radiação solar direta, além da baixa resistência e retardo térmicos.

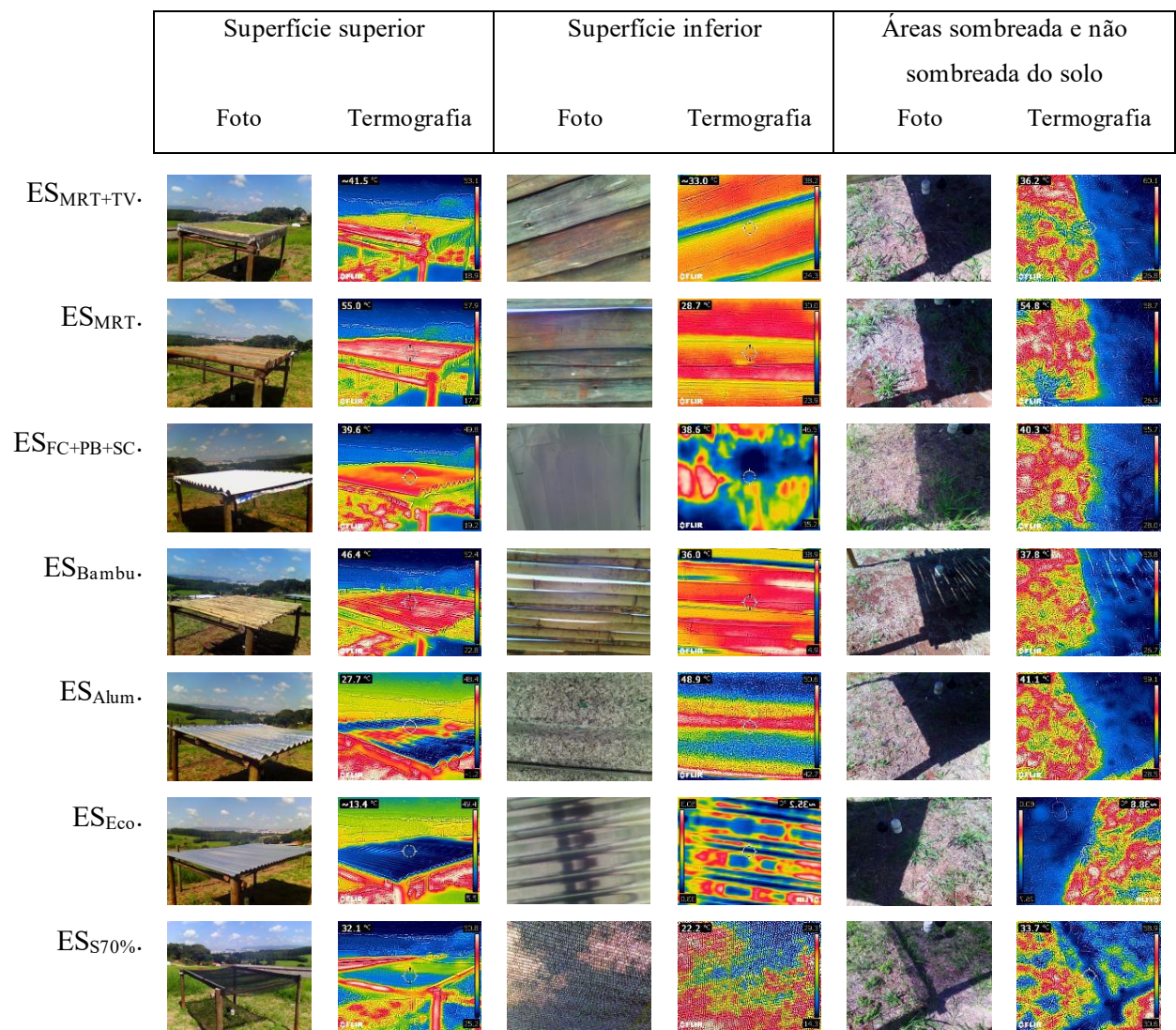
Comparando-se o ambiente térmico externo em relação àqueles sob as estruturas de sombreamento (Figuras 2A a 2G), observa-se que o provimento de sombreamento para as aves durante o acesso ao piquete é necessário e confirmado nesta pesquisa, corroborando com diversos autores (GORANSSON & LUNDMARK HEDMAN, 2024; IMPLEMENTING REGULATION – 2020/464). Carvalho et al. (2021), destacaram que o sombreamento insuficiente ou a ausência de sombra em sistemas *free-range* pode aumentar a mortalidade das aves, especialmente em regiões de clima quente.

As análises considerando os efeitos das radiações solar e ou térmica resultaram em classificações de desempenho térmico diferenciadas para as estruturas de sombreamento, construídas com tipos de coberturas que performaram melhor ou de forma intermediária, em relação àquelas que desconsideraram esses efeitos. Entretanto, destaca-se que, esse resultado indica a importância de se usar índices de avaliação do ambiente térmico que sejam determinados em função de variáveis que contabilizem os efeitos dessas radiações.

Neste contexto, o uso de variáveis isoladas como t_{bs} , UR e V mostram-se inadequadas, bem como, o emprego de índices e propriedades termodinâmicas do ar que desconsideram os efeitos das radiações solar e ou térmica, como o ITU e H, respectivamente.

Parte do calor advindo da radiação solar incidente sobre a cobertura é transferida para a superfície interna, resultando no aumento da temperatura interna. Ademais, o entorno da área sombreada pela cobertura também é aquecido pela incidência de radiação solar. Desta forma, as trocas de calor por radiação térmica (trocas entre superfícies com diferentes temperaturas), entre essas superfícies e a superfície da ave, durante os períodos mais quentes do dia e, em especial, para regiões de climas quentes sujeitas a alta incidência de radiações solares, são intensificadas, aumentando a sensação de desconforto das aves. A Figura 16 ilustra as temperaturas superficiais das estruturas de sombreamento avaliadas e do ambiente externo.

Figura 16 - Temperaturas superficiais das estruturas de sombreamento.



Fonte: Do autor (2025).

Galinhas poedeiras abrigadas sob estruturas de sombreamento artificial construídas com tela de polietileno recebem parte da radiação solar direta que passa pelos orifícios da tela, reduzindo, portanto, o potencial de mitigação de desconforto. Neste caso, além da radiação solar que atravessa a tela de polietileno, o seu aquecimento, leva à necessidade de se considerar os efeitos conjuntos das radiações solar e térmica.

Os resultados indicam também, que o sombreamento artificial não foi suficiente para promover ambiente térmico adequado para aves durante os períodos mais quentes do dia, apesar de mitigar o desconforto térmico sentido pela ave quando submetida às intempere sem nenhum tipo de proteção, corroborando com diversos autores (BHAWA, MORÊKI & MACHETE,

2023; ONAGBESAN et al., 2023; TEYSSIER et al., 2022; NAWAZ et al., 2021; WASTI, SAH & MISHRA, 2020). Desta forma, novas formas de melhorias do ambiente térmico, em adição ao sombreamento artificial devem ser estudadas.

Ressalta-se, que as estruturas de sombreamento oferecem proteção contra predadores, permitindo que as aves se abriguem e, assim, contribuindo para a oferta da liberdade de medo em relação a predadores aéreos (GARCIA et al., 2023; KIANI, 2022).

Esses achados são fundamentais para auxiliar na tomada de decisões em relação a escolha das práticas de manejo em sistemas *free-range* de criação de galinhas poedeiras, propiciando o aprimoramento do bem-estar e da produtividade das aves.

4. CONCLUSÃO

Por meio de avaliações térmicas em protótipos instalados em campo e microscopia eletrônica de varredura, verificou-se que as estruturas de sombreamento artificial ES_{MRT+TV}, ES_{MRT} e ES_{FC+PB+SC} apresentam desempenho térmico superior quando instaladas em piquetes de sistemas *free-range* de criação de galinhas poedeiras. As características morfoestruturais, observadas, indicam uma microestrutura sólida e organizada, conferindo eficiência térmica superior.

As estruturas de sombreamento ES_{Bambu}, ES_{Eco} e ES_{Alum} mostraram desempenhos intermediários. As análises estruturais desses materiais boa capacidade de absorção e dispersão de calor, mas apresentam limitações em sua resistência térmica.

Por outro lado, a tela ES_{S70%} com eficiência térmica limitada e o ambiente externo forneceram condições térmicas adversas. Nestes casos, a incidência de radiação solar influenciou negativamente o desempenho térmico.

Recomenda-se fortemente o uso de índices de avaliação do ambiente térmico que considerem a radiação solar e ou térmica na análise térmica de estruturas de sombreamento instaladas em piquetes de sistemas de criação *free-range* de galinhas poedeiras, bem como para avaliação do ambiente externo.

Apesar das estruturas de sombreamento artificiais mitigarem o desconforto térmico durante as horas mais quentes do dia, é importante ressaltar que esse melhoramento por si só não é capaz de garantir o conforto térmico das aves ao longo de todo o ano ou durante os horários de pico de temperatura. Portanto, torna-se imperativo adotar tecnologias de

climatização localizada do ar, como ventilação forçada e ou sistemas de resfriamento evaporativo. Desta forma, poder-se-á proporcionar bem-estar às galinhas poedeiras em períodos de temperaturas mais elevadas.

REFERÊNCIAS

- ABAL - Associação Brasileira do Alumínio. Disponível em:
<https://abal.org.br/aluminio/caracteristicas-quimicas-e-fisicas/?utm_source=chatgpt.com>.
Acesso em: 15 jan. 2025.
- ABNT NBR 15495:2006. Telhas de fibrocimento — Especificação. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).
- ALBRIGHT, L. D. Environment control for animals and plants. St, Joseph: American Society of Agricultural Engineers Michigan, 1990. 453p. ASAE Textbook, 4
- ALMEIDA, R. M. R.; AGOPYAN, V. Influência da refletância das coberturas no desempenho térmico de edificações. **Revista PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, v. 4, n. 2, p. 60–74, jul./dez. 2013.
- ALVARES, C. A., STAPE, J. L., SENTELHAS, P. C., de MORAES GONÇALVES, J. L., & SPAROVEK, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6), 711-728.
- AMADA, S., ICHIKAWA, Y., MUNEKATA, T., NAGASE, Y., & SHIMIZU, H. (1997). Fiber texture and mechanical graded structure of bamboo. **Composites Part B: Engineering**, 28(1–2), 13–20.
- ANDRADE, A. C. S.; CARASEK, H. Influência de impermeabilizantes no comportamento térmico e higratérmico de telhas cerâmicas. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, São Paulo, v. 6, n. 2, p. 242-261, 2013.
- ASM INTERNATIONAL. ASM Handbook, Volume 2: Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials. ASM International, 2002.
- ASTM C1181-14. Standard Specification for Non-Asbestos Fiber-Cement Sheet. ASTM International.
- BESTMAN, M.; WAGENAAR, J.-P. Health and welfare in dutch organic laying hens. *Animals: an open access journal from MDPI*, v. 4, n. 2, p. 374–390, 2014.
- BHAWA, S.; MORÊKI, J. C.; MACHETE, J. B. Poultry management strategies to alleviate heat stress in hot climates: A review. *Journal of world's poultry research*, 2023.
- BOLELI, I. C. et al. Poultry egg incubation: Integrating and optimizing production efficiency. *Revista brasileira de ciência avícola*, v. 18, n. spe2, p. 1–16, 2016.
- BONNEFOUS, C. et al. Welfare issues and potential solutions for laying hens in free range and organic production systems: A review based on literature and interviews. *Frontiers in veterinary science*, v. 9, p. 952922, 2022.
- BRACKE, M. B. M.; HOPSTER, H. Assessing the importance of natural behavior for animal welfare. **Journal of Agricultural and Environmental Ethics**. Canadá, v. 19, p. 77-89, 2006.

- BRAGA, F. S.; OKITA, W. M.; LOUREÇONI, D.; LEAL DE OLIVEIRA, P. T. *Thermal performance of roofing materials and shade nets in poultry sheds*. **Engenharia Agrícola, Jaboticabal**, v. 44, e20240020, 2024. DOI: 10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v44e20240020
- BRUGALETTA, G. et al. A review of heat stress in chickens. Part I: Insights into physiology and gut health. **Frontiers in physiology**, v. 13, p. 934381, 2022.
- BUFFINGTON, C.S. et al. Black globe humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.24, n.3, p.711-714, 1981.
- CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. *Materials Science and Engineering: An Introduction*. 9. ed. Wiley, 2012.
- CAMPBELL, D. L. M., HINCH, G. N., & DOWNING, J. A. (2016). Outdoor stocking density in free-range laying hens: Effects on behaviour and welfare. **Animal**, 10(1), 61-70.
- CARVALHO, F. B.; SATORI, J. R.; PEZZATO, A. C.; FASCINA, V. B.; CASTELO, P. G.; SOUZA, I. M. G. P. de. Temperatura ambiente e idade do frango de corte sobre o valor energético do milho. **Ciência Animal Brasileira / Brazilian Animal Science**, Goiânia, v. 22, 2021. DOI: 10.1590/1809-6891v22e-65526. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/vet/article/view/65526>. Acesso em: 23 jun. 2025.
- CORNESCU, G. M. et al. Mitigation of heat stress effects on laying hens' performances, egg quality, and some blood parameters by adding dietary zinc-enriched yeasts, parsley, and their combination. **Frontiers in veterinary science**, v. 10, p. 1202058, 2023.
- CUNHA, R. C. et al. Caracterização morfológica de fibras vegetais por microscopia eletrônica de varredura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 22, n. 3, p. 179–184, 2018.
- DAWKINS, M. S., & LAYTON, R. (2012). Breeding for better welfare: genetic goals for broiler chickens and their parents. **Animal Welfare**, 21(2), 147-155.
- DE OLIVEIRA, R., DA SILVA, H. L., MIRA, L. B., DA SILVA, L. V., & DE JESUS, S. F. P. (2019). Bem-estar das galinhas poedeiras. **Anais Sintagro**, 11(1).
- EMBRAPA (2023). Propriedades térmicas de materiais de construção e sua aplicabilidade em sistemas agropecuários. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA).
- ESMAY, M.L. *Principles of animal environment*. 2 nd . West Port: AVI, 1974. 325 p.
- FAWC - Farm Animal Welfare Council -. *Farm Animal Welfare in Great Britain: Past, Present and Future*. Disponível em: https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/319292/Farm_Animal_Welfare_in_Great_Britain_-_Past__Present_and_Future.pdf . Acesso em 10 de Outubro de 2023. 2009.
- FOREST PRODUCTS LABORATORY. (2010). *Wood Handbook: Wood as an Engineering Material*. General Technical Report FPL-GTR-190. USDA Forest Service.
- GARG, S.; KUMAR, R. "Failure analysis of fiber-cement boards under wet and dry cycling." **Construction and Building Materials**, v. 269, p. 121-130, 2021.
- GHAVAMI, K. "Bamboo as reinforcement in structural concrete elements." **Cement and Concrete Composites**, v. 27, n. 6, p. 635-639, 2005.

GHISI, Enedir; OLIVEIRA, Lucila M. Análise do desempenho térmico de coberturas metálicas com diferentes tratamentos superficiais. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 2, p. 7–25, abr./jun. 2010.

GIVONI, B. Climate considerations in building and urban design. New York: Van Nostrand Reinhold, 1998.

GÖRANSSON, L.; LUNDMARK HEDMAN, F. The perks of being an organic chicken – animal welfare science on the key features of organic poultry production. **Frontiers in animal science**, v. 5, 2024.

GUNNARSSON, S., HEIKKILÄ, M., HUNLGREN, J., & VALROS, A. (2008). Improving animal welfare in organic livestock systems. **Journal of Science of Food and Agriculture**, 88(15), 2681-2686.

GUO, Q. et al. Fracture mechanisms and mechanical performance of composite materials: a review. **Composites Part B: Engineering**, v. 124, p. 105-117, 2017.

HUMANE FARM ANIMAL CARE. Padrões do HFAC para a Produção de Galinhas Poedeiras. Herndon Va: HFAC, 2018.

IAWA COMMITTEE. "International terminology of wood anatomy." **IAWA Journal**, v. 10, p. 1-40, 1989.

Implementing regulation - 2020/464 - EN - EUR-Lex. Disponível em: <http://data.europa.eu/eli/reg_impl/2020/464/oj>. Acesso em: 27 nov. 2024.

ISO 21930:2017. Environmental product declarations — Core rules for the product category of construction products. International Organization for Standardization (ISO).

JANSSEN, J. J. A. "Bamboo: The plant and its properties." **Bamboo Science and Culture**, 2000.

JONES, R.B.; MILLS, A.D. Divergent selection for social reinstatement behavior in Japanese quail: effects on sociality and social discrimination. **Poultry Avian Biology Review**, v.10, n.4, p.213-223, 1999.

JUIPUTTA, J.; CHANKITISAKUL, V.; BOONKUM, W. Appropriate genetic approaches for heat tolerance and maintaining good productivity in tropical poultry production: A review. **Veterinary sciences**, v. 10, n. 10, p. 591, 2023.

KANG, E. et al. Uncertainty assessment of mean radiant temperature estimation for indoor thermal comfort based on clustering analysis of reduced-input surfaces. **Buildings**, v. 13, n. 2, p. 342, 2023.

KIM, H.-R. et al. Effects of heat stress on the laying performance, egg quality, and physiological response of laying hens. *Animals: an open access journal from MDPI*, v. 14, n. 7, p. 1076, 2024.

KÜÇÜKTOPÇU, E.; CEMEK, B.; SIMSEK, H. Modeling environmental conditions in poultry production: Computational fluid dynamics approach. *Animals: an open access journal from MDPI*, v. 14, n. 3, p. 501, 2024.

LACHAPELLE, J. A. et al. A microscale three-dimensional model of urban outdoor thermal exposure (TUF-Pedestrian). **International journal of biometeorology**, v. 66, n. 4, p. 833–848, 2022.

LATORRACA, J. L.; et al. "Wood durability: Analysis and prevention of degradation by fungi and insects." **Wood Science and Technology**, v. 37, p. 25-32, 2003.

LIESE, W.; TANG, B. "Bamboo preservation and its properties." **Journal of Bamboo and Rattan**, v. 4, p. 1-24, 2015.

MASCARENHAS, N. M. H. et al. Thermal environment characterization of laying hen-housing systems. **Journal of Animal Behaviour and Biometeorology**, v. 10, n. 2, p. 1–9, 2022.

MAZOCCO, C. C. et al. Laying hens: Why smothering and not surviving?-A literature review. *Animals: an open access journal from MDPI*, v. 14, n. 11, p. 1518, 2024.

MBUTHIA, J. M.; EGGERT, A.; REINSCH, N. Cooling temperature humidity index-days as a heat load indicator for milk production traits. **Frontiers in animal science**, v. 3, 2022.

MENCH, J. A. (2018). *Advances in poultry welfare*. **Woodhead Publishing**.

MORAES, S.R.P. Conforto térmico em modelos reduzidos de galpões avícolas, para diferentes coberturas, durante o verão. 1999. 73 f. Dissertação (Mestrado em Construções Rurais e Ambiente) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.

MORAIS, F. T. L.; DE LOPES NETO, J. P.; SANTOS, A. M.; DOS LEITE, P. G. & CAVALCANTI, R. G. Conforto térmico e desempenho de poedeiras na fase inicial. **Engenharia na Agricultura**, 35(3), 388–394, 2020.
<https://doi.org/10.17224/EnergAgric.2020v35n3p388-394>

NAWAZ, A. H. et al. Poultry response to heat stress: Its physiological, metabolic, and genetic implications on meat production and quality including strategies to improve broiler production in a warming world. **Frontiers in veterinary science**, v. 8, p. 699081, 2021.

OLIVEIRA, M. T. et al. Avaliação morfológica de mantas têxteis para sombreamento por MEV. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 43, n. 5, p. 1–9, 2019.

OLIVEIRA, R. A. et al. Avaliação do desempenho térmico de diferentes coberturas utilizadas em instalações rurais no semiárido brasileiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 15, n. 3, p. 243–250, 2011.

ONAGBESAN, O. M. et al. Alleviating heat stress effects in poultry: updates on methods and mechanisms of actions. **Frontiers in veterinary science**, v. 10, p. 1255520, 2023.

PANSHIN, A. J.; DE ZEEUW, C. *Textbook of Wood Technology*. McGraw-Hill, 1980.

PENG, H. et al. Effects of low-pressure systems on temperature, humidity, egg production, and feed utilization efficiency in large-scale poultry houses during summer. *Animals: an open access journal from MDPI*, v. 14, n. 17, p. 2554, 2024.

PEREIRA, D. F.; BATISTA, E. dos S.; SANXHES, F. T.; GABRIEL FILHO, L. R. A. & FREITAS BUENO, L. G. de. Diferenças comportamentais de poedeiras em diferentes ambientes térmicos. **Energia na Agricultura**, 30(1), 33–40.
<https://doi.org/10.17224/EnergAgric.2015v30n1p33-40>, 2015.

R Core Team (2023) *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Viena, Austria: R Foundation for Statistical Computing, Vienna. <https://www.R-project.org/>

RAUWENDAAL, C. *Polymer extrusion*. 5. ed. Munich: Hanser Publishers, 2014.

- RIBEIRO, A. C.; OLIVEIRA, L. S.; SILVA, R. F. Desempenho de telas de sombreamento em polipropileno na agricultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 23, n. 3, p. 178-184, 2019.
- RIBEIRO, B. P. V. B.; YANAGI JUNIOR, T.; OLIVEIRA, D. D.; LIMA, R. R.; ZANGERONIMO, M. G. Thermoneutral zone for laying hens based on environmental conditions, enthalpy and thermal comfort indexes. **Journal of Thermal Biology**, v. 93, 2020, artigo 102678. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2020.102678>
- RODENBURG, T. B., & KOENE, P. (2021). The impact of free-range systems on animal welfare and production: **A review. Poultry Science**, 100(3), 101116.
- RODENBURG, T. B.; BUITENHUIS, A. J.; ASK, B.; UITDEHAAG, K.; KOENE, P.; VAN DER POEL, J. J.; BOVENHUIS, H. Heritability of feather pecking and open field response in laying hens at two different ages. **Poultry Science**, Champaign, v. 82, p. 862-867, 2003.
- RYKACZEWSKI, K.; VANOS, J. K.; MIDDEL, A. Anisotropic radiation source models for computational thermal manikin simulations based on common radiation field measurements. **Building and environment**, v. 208, n. 108636, p. 108636, 2022.
- SANTOS, M. M. et al. Protocolo para preparação de amostras fibrosas para microscopia eletrônica de varredura. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, v. 23, n. 5, p. 45–58, 2020.
- SANTOS, R. P.; TONSADO, F. M.; SILVA, D. A. Efeitos do estresse térmico em galinhas poedeiras: aumento da frequência respiratória, consumo hídrico, desequilíbrio eletrolítico e risco de mortalidade. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, [S.l.], v. 25, n. 1, p. 45–52, 2023.
- SHAW, E. W. Thermal Comfort: analysis and applications in environmental engineering, by P. O. Fanger. 244 pp. DANISH TECHNICAL PRESS. Copenhagen, Denmark, 1970. Danish Kr. 76, 50. **Royal Society of Health journal**, v. 92, n. 3, p. 164–164, 1972.
- SILVA, C. A.; MEDEIROS, L. A.; NASCIMENTO, J. S. Avaliação térmica de coberturas com materiais naturais em edificações rurais. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v. 15, n. 1, p. 120–131, 2020.
- SILVA, R. A. da et al. Manejo térmico em aves: impactos no desempenho e estratégias para o conforto térmico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 25, n. 7, p. 517–524, 2021. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v25n7p517-524.
- SUNDRUM, A. Organic livestock farming – A critical review. *Livestock Production Science*, v.67, n.3, p.207-215, 2001.
- TEYSSIER, J.-R. et al. A review of heat stress in chickens. Part II: Insights into protein and energy utilization and feeding. *Frontiers in physiology*, v. 13, p. 943612, 2022.
- THOM, E.C. The discomfort index. **Weatherwise**, v.12, n.1, p.57- 60, 1959.
- TULLEY, M.; NICHOLSON, K. Evaluation of roof surface temperature in rural housing using alternative materials. *Energy and Buildings*, v. 210, p. 109757, 2020.
- VANDANA, G. D. et al. Heat stress and poultry production: impact and amelioration. **International journal of biometeorology**, v. 65, n. 2, p. 163–179, 2021.

WASTI, S.; SAH, N.; MISHRA, B. Impact of heat stress on poultry health and performances, and potential mitigation strategies. **Animals: an open access journal from MDPI**, v. 10, n. 8, p. 1266, 2020.

ANEXO 1 – TERMOS DE BUSCA REVISÃO SISTEMÁTICA

- Ambiente térmico para bezerros;
- Ambiente térmico para poedeiras;
- *Artificial shading*;
- Cobertura e animais;
- Cobertura e bezerros;
- Cobertura e poedeiras;
- Cobertura e suínos;
- Cobertura para *free-range*;
- Cobertura para poedeiras;
- Conforto térmico para animais;
- Conforto térmico para bezerros;
- Conforto térmico para poedeiras;
- *Coverage and calves*;
- *Covering materials and animals*;
- *Covering materials and cattle*;
- Diferentes materiais de cobertura;
- Diferentes materiais para telhados na avicultura;
- Diferentes materiais para telhados;
- *Different roofing materials*;
- Estrutura de sombreamento para poedeiras;
- Galpões avícolas modelos reduzidos;
- Materiais de cobertura e animais;
- Materiais de cobertura e bezerros;
- Materiais de cobertura e *free-range*;
- Materiais de cobertura e poedeiras;
- Materiais de cobertura e suínos;
- Materiais de cobertura e vacas;
- Modelos reduzidos de diferentes tipos de cobertura;
- *Reduced models of diferente types of coverage*;
- *Shading and calves*;
- *Shading structure for free-range*;
- Sombreamento artificial;
- Sombreamento e animais;
- Sombreamento e bezerros;
- Sombreamento e bovinos;
- Telhados com materiais alternativos;
- *Thermal efficiency of roofing materials*;
- Tipos de cobertura;