

Inovação tecnológica na ambientação de instalações para animais de produção: Aplicações



<https://doi.org/10.56238/sevened2023.006-157>

Gabriel Maurício Peruca de Melo

Doutor, FCAV-UNESP, campus Jaboticabal-SP.
Titular na Universidade Brasil, UB, Descalvado-SP.

Liandra Maria Abaker Bertipaglia

Doutora, FCAV-UNESP, campus Jaboticabal-SP.
Titular na Universidade Brasil, UB, Descalvado-SP.

Wanderley José de Melo

Doutor, ESALQ-USP, campus Piracicaba-SP.
Titular na Universidade Brasil, UB, Descalvado-SP. e
Universidade Estadual Paulista, FCAV/UNESP.
Pesquisador Sênior do CNPq.

Cassia Cristina Tannuri Gomes Bardi

MSc, Universidade Brasil, UB, Descalvado-SP.

Luiz Arthur Malta Pereira

Doutor, FZEA-USP, campus Pirassununga-SP.
Titular na Universidade Brasil, UB, Descalvado-SP.

Cynthia Pieri Zeferino

Doutora, FMVZ-UNESP, campus Botucatu-SP.
Titular na Universidade Brasil, UB, Descalvado-SP.

Paulo Henrique Moura Dian

Doutor, UEM, Maringá-PR.
Titular na Universidade Brasil, UB, Descalvado-SP.

RESUMO

O capítulo discute o progresso da ciência e da tecnologia nas instalações para animais de produção. Destaca-se que as inovações tecnológicas muitas vezes superam a capacidade da ciência em

assimilá-las rapidamente, especialmente com o crescimento exponencial dos bancos de dados. O texto contextualiza a evolução das instalações para animais ao longo da história. No passado, o foco estava em elementos físicos e equipamentos para controlar o microclima, mas com os avanços tecnológicos, a introdução da inteligência artificial (IA) revolucionou a forma como esses ambientes são planejados e gerenciados. A IA permite a coleta, análise e interpretação de dados em tempo real, possibilitando ajustes precisos nas condições ambientais para atender às necessidades dos animais. A tecnologia evoluiu para registrar atividades dos animais que podem estar relacionadas à saúde, incluindo movimentos, comportamentos e sinais vitais. Apesar dos avanços, o texto aponta desafios estruturais e biológicos que podem impedir a implementação de novas tecnologias nas instalações. No entanto, ressalta-se a importância do planejamento das instalações para garantir o bem-estar e a produtividade dos animais, especialmente ao considerar o conforto térmico. Isso envolve compreender as necessidades específicas dos animais em relação ao ambiente, escolher materiais de construção adequados e adotar práticas sustentáveis, como sistemas de energia renovável. Em suma, o capítulo enfatiza que a revolução na ambiência das instalações para animais, impulsionada pela inteligência artificial, representa um avanço significativo na busca por condições adaptáveis e ideais, criando um ambiente mais saudável e eficiente para a produção animal.

Palavras-chave: Abrigo, Ambiência, Conforto térmico, Estresse por calor, Materiais de construção.

1 INTRODUÇÃO

A história da ciência frequentemente mostra que as novas ferramentas avançam mais rapidamente do que a ciência que as adota. Com o crescimento exponencial das escalas e volumes de dados, surgirão novas questões e exigirão modelos científicos mais avançados. É imperativo capacitar



a próxima geração de cientistas para explorar e conduzir pesquisas neste ambiente de informações expandido (BENSON et al., 2010).

Na ambientação de instalações para animais de produção, a evolução reflete um desenvolvimento contínuo ao longo da história. No passado, considerações sobre o bem-estar animal e condições ambientais se concentravam em elementos físicos, como a orientação, altura do pé-direito e lanternins nos galpões, o tipo de telha utilizado ou a implementação de equipamentos, como ventiladores e aspersores, para manipular o microclima do ambiente de criação.

No entanto, com os avanços tecnológicos, especialmente na era contemporânea, a abordagem para garantir condições ideais para os animais evoluiu significativamente. A introdução e integração da inteligência artificial (IA) revolucionaram a maneira como se projeta e gerencia esses ambientes. A IA possibilita a coleta, análise e interpretação de uma quantidade massiva de dados em tempo real, permitindo ajustes precisos e dinâmicos nas condições do ambiente para atender às necessidades específicas dos animais.

Essa transformação permitiu um nível sem precedentes de personalização e adaptação das instalações, levando em consideração não apenas fatores básicos, mas também variáveis complexas, como padrões de comportamento dos animais, interações sociais, níveis ideais de luz, temperatura, umidade e qualidade do ar.

Sabe-se que as condições microclimáticas inadequadas podem impactar a saúde dos animais. Na agricultura e pecuária, os avanços tecnológicos são principalmente voltados para auxiliar na avaliação da saúde desses organismos. No caso dos animais de produção, o estresse causado por climas quentes pode gerar a suscetibilidade a doenças, e assim, afetar o consumo alimentar, o ganho de peso, a reprodução e a produção de leite, carne, ovos. Segundo Brust et al. (2017), a tecnologia evoluiu para registrar as atividades dos animais que podem ser relacionadas ao padrão de saúde ou não. Para Kumar e Hancke (2014), exemplo dessas variáveis compreendem o movimento da cabeça; atividade de ruminção, locomoção e de ingestão de alimentos e água (ZEHNER et al., 2012) a temperatura corporal central e a frequência cardíaca (KULDHARAN et al., 2023).

De modo geral, o avanço tecnológico tem apoiado a observação do comportamento animal, que trata de um processo complexo. Não só deve ser capaz de identificar o indivíduo em seu ambiente, mas também interpretar padrões de movimento, por exemplo, agonístico ou sociáveis. A pesquisa comportamental tradicional requer horas de treinamento para identificar com precisão o comportamento animal com base em etogramas detalhados. Da mesma forma, é necessário um extenso treinamento de inteligência artificial com muitas imagens para "reconhecer" comportamentos distintos. No entanto, essa tecnologia oferece a vantagem de permitir monitoramento contínuo por períodos mais longos, dispensando a presença de observadores humanos, resultando em uma coleta de dados em grande escala e, mais econômica (VALLETTA et al., 2017).



De modo geral, a IA oferece a capacidade de prever e responder rapidamente a mudanças nas condições ambientais, promovendo assim a possibilidade de se prover o bem-estar e o desempenho dos animais de produção. Essa revolução na ambiência das instalações para animais, impulsionada pela inteligência artificial, representa um avanço significativo na busca por condições ideais e adaptáveis, proporcionando um ambiente mais saudável e eficiente para a criação e produção animal.

Apesar desta revolução tecnológica constatada, ainda se depara com problemas estruturais dos ambientes onde os animais são mantidos, ou até mesmo, os biológicos que oscilam influenciados por múltiplos fatores. Nessa condição, há a dificuldade ou impossibilidade da implementação de novas tecnologias. O planejamento das instalações para animais de produção é um passo crítico para assegurar um ambiente propício ao bem-estar e à produtividade desses animais.

Para planejar instalações que promovam o conforto térmico, é essencial compreender as necessidades específicas dos animais em relação ao ambiente. Os bovinos leiteiros, por exemplo, são sensíveis a mudanças bruscas de temperatura e, portanto, é necessário considerar uma faixa ideal de temperatura, além de estratégias para mitigar os efeitos do calor excessivo ou do frio intenso. A resposta desses animais ao estresse térmico é imediata e pode ser medida na produção de leite.

A escolha dos materiais de construção também desempenha um papel crucial no controle térmico das instalações dos animais. Materiais com propriedades isolantes, são selecionados para garantir eficiência na retenção ou dissipação de calor, conforme necessário. Para auxiliar no controle térmico do ambiente, sistemas de ventilação estrategicamente posicionados são essenciais para regular a temperatura e a umidade dentro das instalações. Janelas ajustáveis, aberturas direcionadas e sistemas de exaustão são incorporados para garantir um fluxo de ar constante e controlado, mantendo o ambiente arejado e confortável. De acordo com Bardi (2018), softwares que disponibilizam informações científicas sobre materiais de construção relacionados ao bem-estar dos animais, que sejam de fácil acesso e uso devem ser adotados. Devem ser encarados como uma biblioteca sobre o tema específico para auxiliar pessoas que apresentem alguma dificuldade de acesso às bibliotecas físicas e virtuais.

Adicionalmente a este cenário, o design das estruturas, como telhados, paredes e pisos, é planejado para maximizar o conforto térmico. Superfícies reflexivas para telhados e paredes podem reduzir a absorção de calor, enquanto a orientação das construções pode otimizar a ventilação natural, permitindo um fluxo de ar adequado. Estruturas que oferecem sombreamento adequado são planejadas para proteger os animais da exposição direta ao sol, proporcionando áreas frescas e confortáveis.

De modo geral, o planejamento das instalações para o conforto térmico dos animais não deve apenas atender às necessidades imediatas, mas também considerar práticas sustentáveis. Isso inclui a adoção de sistemas de energia renovável, como painéis solares para alimentar sistemas de ventilação ou resfriamento, além do racional uso da água e o seu tratamento.



2 MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO NO AUXÍLIO DA AMBIÊNCIA NAS INSTALAÇÕES DOS ANIMAIS

Os materiais de construção desempenham um papel importante na criação de ambientes que proporcionam conforto térmico aos animais. Segundo Miragliotta et al. (2006), dentro das instalações avícolas, o microclima é influenciado por uma variedade de fatores, incluindo orientação, localização, tipo e tamanho da edificação, bem como os materiais de construção utilizados, com destaque especial para o material de cobertura. Além desses aspectos estruturais, os próprios animais, práticas de manejo e equipamentos adotados para o controle térmico desempenham papéis significativos.

Na sequência, serão abordados alguns conceitos e aplicações práticas desses materiais, com os reflexos nos resultados do desempenho do animal, além de suas influências no controle térmico do ambiente.

Para o isolamento térmico da instalação, diferentes materiais ajudam a manter a temperatura interna estável, reduzindo o estresse térmico nos animais e contribuindo para seu bem-estar e produtividade. Materiais isolantes, como lã de vidro, poliuretano expandido ou espuma de poliestireno, são frequentemente usados para minimizar a transferência de calor. Eles são aplicados em paredes, telhados e pisos para manter a temperatura interna mais estável, reduzindo a perda de calor no inverno e o ganho excessivo no verão.

De acordo com Castro (2012), compreender os conceitos dos mecanismos de troca de calor requer a consideração da condutibilidade térmica (λ). Esse parâmetro representa a quantidade de calor que um material transmite em uma determinada diferença de temperaturas, seja do interior para o exterior ou vice-versa. É um indicador da eficiência do material em absorver ou emitir calor. Para Ferreira (2005), a determinação da condutibilidade térmica de um material requer a consideração da resistência térmica (R), a qual está intrinsecamente ligada à espessura do material. Essa dimensão determina a capacidade do material em restringir ou facilitar a transferência de calor. Portanto, à medida que a espessura aumenta, também cresce a resistência à transmissão de calor.

Segundo Tinôco (2001), os isolamentos térmicos consistem em materiais com baixa condutividade térmica, combinados para alcançar eficiência na condução do calor nos sistemas. Em isolamentos compostos por fibras, o material sólido está finamente disperso em espaço preenchido por ar. Nestes sistemas, a condutividade térmica efetiva depende não só das propriedades radiativas do material sólido, mas também da natureza e da fração volumétrica do ar ou do espaço vazio. Um parâmetro importante é a densidade (massa/volume total), influenciada pela ligação do material sólido. Quando pequenos espaços vazios ou ocos são formados pela fusão ou adesão de parte do material sólido, uma matriz rígida é estabelecida. Se esses espaços estiverem isolados entre si, o sistema é conhecido como isolamento celular. Exemplos desses isolamentos rígidos incluem espumas,



especialmente aquelas compostas por materiais plásticos ou vítreos, como poliuretanos, eucatex e lâ de vidro.

Em um estudo conduzido por Arruda (2018) numa granja comercial de poedeiras, foi avaliado o desempenho térmico de galpões com e sem o isolamento térmico na cobertura do galpão. Verificou-se que o galpão desprovido de isolamento alcançou temperaturas consideravelmente mais altas em todas as 4 fileiras de gaiolas avaliadas e, nas 3 alturas, atingindo um pico de 35,32°C (sem isolamento/altura 1 – mais próxima ao solo), em comparação a 30,08°C (com isolamento/altura 1 – mais próxima ao solo). Isso representou uma diferença significativa de 5,24°C entre os tratamentos. A presença do isolamento térmico sob a cobertura demonstrou claramente sua eficiência no controle térmico dos galpões. O autor apontou que o isolante dificulta a dissipação de calor, impedindo que a temperatura interna dos galpões se iguale à temperatura externa, devido às suas propriedades de alta resistência térmica e baixa condutividade térmica. No entanto, mesmo com o isolamento, os valores registrados ainda estavam acima da termoneutralidade das aves. Diante disso, o estudo sugeriu a necessidade de implementar outras medidas de resfriamento e ventilação nos galpões comerciais para garantir condições ideais para as aves.

Outro tipo de material usado na instalação e que interfere no microclima interior é a *cobertura dos telhados*. Segundo Nããs et al. (2001), os telhados e os materiais de cobertura desempenham um papel fundamental na carga térmica por radiação em instalações avícolas. Especificamente, o telhado é um componente significativo, influenciando diretamente a incidência da carga térmica de radiação sobre os animais.

Os materiais utilizados na construção da cobertura, quando possuem alta refletância na parte externa, desempenham um papel crucial na redução da absorção da energia solar e dos ganhos de calor. Esses materiais desempenham um componente determinante no estabelecimento do conforto térmico ambiental das instalações (CASTRO, 2012). Sevegnani et al. (1994) concluíram que, em relação ao conforto térmico, as telhas de barro proporcionam o melhor desempenho, seguidas pelas telhas de alumínio e térmicas. Em terceiro lugar, estão as telhas de cimento amianto simples, seguidas pelas de zinco e, por fim, as telhas de fibra de vidro.

O uso de superfícies reflexivas tem sido uma prática empregada como isolante térmico devido às suas características de baixa emissividade e absorvidade, bem como à alta refletividade no espectro infravermelho (MICHELS et al., 2008). Estudo avaliou os efeitos da combinação entre pintura reflexiva (tinta látex branca aplicada em telhas de cimento-amianto) e ventilação artificial na produção de frangos de corte. Os resultados obtidos mostraram uma redução nos valores de carga de calor radiante, índice de globo negro de umidade e índice de temperatura-umidade no ambiente, indicando os benefícios dessa combinação para as condições térmicas no alojamento de aves (PASSINI et al., 2013).



A cobertura do aviário deve possuir alta capacidade reflexiva e isolamento térmico contra os raios solares. Essas características ajudam a limitar a penetração da radiação solar no material, prevenindo um aquecimento excessivo do aviário em temperaturas elevadas (ROCHA et al., 2008).

Diante do estudo de Araújo (2011), com o objetivo de avaliar o efeito do manejo de cobertura e ventilação artificial sobre índices de conforto térmico e desempenho de aves de corte, constatou-se que a aplicação conjunta de pintura branca na cobertura e ventilação artificial revelou-se eficaz na melhoria do conforto térmico do ambiente analisado. De forma isolada, o uso apenas da pintura ou da ventilação artificial não demonstrou eficácia.

Segundo os mesmos autores, as modificações ambientais simples, como pintura reflexiva ou uso de ventilação artificial, contribuem para o aumento do ganho de peso e consumo de alimentos pelas aves de corte. Nota-se um efeito positivo quando a pintura reflexiva e a ventilação artificial são combinadas, resultando em melhores índices de conforto e favorecendo o desempenho dos animais.

O emprego de telhados verdes na produção animal é uma opção sustentável que busca mitigar os impactos dos sistemas agroindustriais nas mudanças climáticas globais e atenuar os efeitos do aquecimento global nos ambientes de produção. Uma vez que parte dos poluentes atmosféricos, incluindo os gases de efeito estufa, tem origem nas instalações de produção animal, os telhados verdes podem desempenhar um papel na absorção de CO₂, contribuindo para o ciclo natural desse gás e aprimorando o equilíbrio ambiental (SOUSA; BARBOSA, 2023).

Em uma pesquisa conduzida para avaliar instalações usadas na criação de búfalos jovens, considerou dois tipos distintos de cobertura de telhado, incluindo um telhado convencional e outro equipado com tela de polipropileno. No estudo foram observadas as respostas fisiológicas dos búfalos ao estresse térmico em condições quentes e úmidas da Tailândia. Os resultados indicaram que os búfalos alojados sob o telhado modificado apresentaram menor estresse térmico em comparação com aqueles sob um telhado padrão. Esta modificação demonstrou ser eficaz na redução da carga de calor proveniente da radiação no telhado, representando um meio eficaz de aliviar o estresse térmico em búfalos jovens (KHONGDEE et al., 2013).

Quanto à construção de paredes, são utilizados materiais como tijolos, concreto ou painéis de isolamento térmico. Esses materiais podem ser escolhidos quanto a capacidade de reter o calor no inverno e manter o ambiente fresco no verão. De acordo com Roriz (2013), o comportamento térmico de uma estrutura refere-se à sua resposta em diferentes temperaturas e variações térmicas. Essa resposta é influenciada por variáveis arquitetônicas essenciais, como orientação solar, acabamento das superfícies, aberturas para ventilação, além das características dos materiais e métodos construtivos, aspectos destacados neste trabalho. As variáveis relacionadas aos materiais e métodos construtivos são definidas por propriedades térmicas específicas, como capacidade térmica, transmitância térmica e fator solar.



Quanto aos pisos de revestimento, na avicultura, estudos investigando o efeito do tipo de piso em alojamento de frangos destacaram os benefícios de separar os animais da cama para melhorar o bem-estar animal. Pesquisas como a de Cengiz et al. (2013) identificaram que o uso de pisos perfurados pode reduzir a ocorrência de problemas como dermatite nas patas, queimaduras nos jarretes e contaminação da plumagem, em comparação com sistemas de cama profunda, conforme observado por Almeida et al. (2017). Além disso, estudos, como o realizado por Chuppava et al. (2018), evidenciaram vantagens econômicas significativas no uso de pisos perfurados, associadas a um aumento no desempenho da produção.

Além dos materiais de construção, a estrutura das instalações inclui sistemas controlados de ventilação. Janelas ajustáveis, aberturas estratégicas e sistemas de exaustão são essenciais para regular o fluxo de ar, mantendo o ambiente arejado e controlando a temperatura. O ar que entra e sai de um galpão tipo *freestall* para vacas leiteiras é muito importante para manter o ambiente interno saudável. Esse ar, em condições naturais, pode ser controlado pelas cortinas que ficam nas laterais da instalação (SHEN; ZHANG; BJERG, 2012).

Se a taxa de ventilação for suficiente, o ambiente interno fica seco e fresco. Se o ar natural de fora do galpão for usado de forma correta, é possível ajustar o ambiente interno com precisão, e ainda economizar energia e reduzir a poluição (concentração de gases e poeira). Para ter um ar adequado nesse tipo de ambiente, é preciso usar as cortinas de forma inteligente, de acordo com a quantidade de ar, a direção do vento e a temperatura dentro e fora do galpão (SHEN; ZHANG; BJERG, 2013).

Na avicultura, o resfriamento evaporativo é a estratégia primária utilizada pelos produtores para lidar com temperaturas elevadas. Esse sistema opera através do resfriamento do ar externo ao passar por um conjunto de painéis evaporativos. Esses painéis, frequentemente compostos de celulose, são concebidos para permanecer constantemente umedecidos. Quando o ar circula através deles, a evaporação das gotículas de água presentes em sua superfície promove a redução da temperatura do ar circundante. O *Pad Cooling* é o sistema de resfriamento evaporativo normalmente utilizado em aviários (CONSTANTINO, 2018).

Galpões tipo *Dark House* foram desenvolvidos para frangos e se baseiam na variação de luminosidade no ambiente, ajustada conforme a idade das aves e seu bem-estar. Um dos pontos notáveis desse sistema refere-se ao método programado de ventilação (ABREU; ABREU, 2011). Enquanto no sistema convencional de criação de aves são empregados ventiladores para promover o bem-estar, no *Dark House* é utilizado um exaustor. Esse exaustor desempenha funções essenciais, como a troca de ar para regular a temperatura e a remoção da amônia do galpão (AMARAL et al., 2011).

Nos galpões convencionais para a produção de aves e bovinos de leite, tão como suínos, é comum encontrar estrutura denominada lanternim. Conforme citado por Abreu e Abreu (2000),



experimentos realizados demonstram que o fluxo de ar pelo lanternim está diretamente associado à sua área de abertura, à diferença de altura entre as aberturas de entrada e saída de ar, às dimensões das aberturas de entrada de ar e à diferença de temperaturas entre o ambiente interno e externo.

De acordo com Vilela et al. (2020), na produção avícola industrial, um dos pontos cruciais para garantia de um ambiente confortável para as aves e, assim, boas respostas nos índices zootécnicos, consiste na escolha e dimensionamento correto do sistema de ventilação instalado nos galpões de criação.

No contexto da ventilação natural, gerada pelas aberturas de entrada de ar e pela presença do lanternim, segundo Camargos (2020), é evidente que isso resulta em uma redução de até 9,2°C na temperatura interna do galpão. Esse dispositivo se torna essencial em construções que possuem fontes internas de calor, uma vez que essas fontes tendem a intensificar o efeito chaminé e acentuar a exaustão natural do ar interno através do lanternim. É notável que os galpões com áreas maiores para saída de ar apresentam um melhor desempenho térmico, reduzindo a temperatura interna em até 5,1°C.

De modo geral, na avicultura, a ventilação mecânica é comumente realizada de duas maneiras distintas: 1) por pressão negativa ou exaustão, os exaustores retiram o ar interno das instalações, criando um vácuo parcial que estimula a entrada de ar fresco. Esse ar percorre todo o galpão, sendo a manutenção da pressão negativa fundamental para assegurar a entrada adequada de ar, em termos de direção e velocidade, para se misturar ao ar já presente no ambiente (OBERREUTER; HOFF, 2000; FRAME; ANDERSON, 2002); 2) por pressão positiva ou pressurização, que pode ser do tipo transversal ou longitudinal, utiliza ventiladores para insuflar o ar externo para dentro do aviário, forçando a saída do ar interno. Quando as cortinas permanecem fechadas, esse sistema é denominado ventilação tipo túnel, e sua eficiência está diretamente ligada à boa vedação do aviário (BAÊTA; SOUZA, 2010; FERREIRA, 2016).

O microclima das instalações para animais de produção é influenciado pelos materiais utilizados no piso. Materiais como concreto, borracha ou tapetes especiais não só proporcionam conforto aos animais, mas também contribuem para a estabilidade térmica do ambiente. Além disso, os substratos utilizados nas camas da área de descanso estão incluídos nesses "materiais para o piso", uma vez que exercem impacto na carga térmica que entra em contato com os animais.

Em alguns sistemas de alojamento não há a necessidade ou exigem uma quantidade mínima de cama, no entanto, sistemas de confinamento intensivo de produção leiteira ou suínos dependem da disponibilidade adequada de materiais para cama nas áreas de descanso dos animais, visando garantir o bem-estar e a higiene desses animais. O papel primordial da cama é oferecer uma superfície de descanso que seja confortável termicamente e agradável para os animais, uma vez que estudos como o de Wolfe et al. (2018) mostraram que as vacas passam mais tempo deitadas quando as baias apresentam uma superfície macia e seca.



Os galpões para vacas leiteiras, tipo *compost barn* (com cama de compostagem) têm se destacado entre as instalações para animais leiteiros, atraindo considerável interesse tanto dos produtores de leite quanto da comunidade científica. Esses galpões, que adotam a cama compostada, têm sido amplamente estudados como um sistema alternativo para o alojamento de gado leiteiro. O conceito envolve uma área de descanso aberta e coberta, revestida com material lignocelulósico, onde o composto é ativamente revolvido para arejar (oxigenação) e manter um processo de compostagem ativo.

Geralmente, as estruturas desses galpões contam com um muro de contenção que cerca o leito, separando o corredor de alimentação do composto (cama). O material de cama mais comumente utilizado no processo de compostagem inclui serragem ou aparas secas, mantidas secas para garantir a secura da superfície da cama e absorção da umidade. Uma análise detalhada das propriedades térmicas, químicas e físicas desses materiais de cama é de grande importância ambiental e econômica, auxiliando os produtores de laticínios na gestão adequada desses sistemas. Um estudo conduzido por Damaceno et al. (2022) revelou uma relação linear entre a condutividade térmica, o teor de umidade e a densidade aparente, enquanto a resistividade térmica apresentou uma redução proporcional ao aumento do tamanho das partículas.

Com relação à cobertura para sombra nas estruturas externas das instalações, como toldos ou telhados estendidos, proporcionam sombra e proteção contra condições climáticas extremas, ajudando a manter uma temperatura mais confortável nas áreas de pastagem ou descanso. Para Souza et al. (2010), reduzir o estresse térmico nos animais é possível por meio de estratégias de sombreamento artificial, que podem ser implementadas utilizando uma variedade de materiais, como telas de polipropileno (sombrite), pilares de eucalipto, palhas, fibrocimento, telhas galvanizadas e de ferro.

A sombra desempenha um papel crucial na redução do estresse térmico em gado, oferecendo um microclima que alivia a carga de calor, conforme destacado por Edwards-Callaway et al. (2021). Seu propósito fundamental é proporcionar um ambiente favorável para atender às necessidades de bem-estar dos animais. Embora o estresse térmico tenha sido amplamente estudado e abordado em sistemas de produção leiteira, a investigação dessa questão na cadeia de abastecimento de gado de corte é menos abrangente. Animais de corte, como qualquer outro, são suscetíveis ao estresse térmico durante períodos de temperaturas elevadas, caso não consigam dissipar o calor adequadamente.

Conforme descrito por Binns et al. (2002), a sombra oferece um alívio direto da radiação solar. No entanto, mesmo em áreas sombreadas, os animais podem ser afetados pela radiação refletida de ondas curtas, como a proveniente do solo aquecido, embora essa influência seja consideravelmente reduzida na sombra. A sombra pode ser natural, proporcionada por árvores ou estruturas, ou artificial, utilizando telhas de metal, barro ou malhas para sombreamento. Sua eficácia varia dependendo da operação, do método de gerenciamento e da localização geográfica.



Ao projetar instalações para animais, é crucial considerar várias variáveis relacionadas à sombra, como as propriedades térmicas dos materiais utilizados, a cobertura do solo sob a sombra (por exemplo, áreas cobertas por vegetação que impedem o superaquecimento do solo e são menos reflexivas), a altura e tamanho da estrutura de sombra, a quantidade de sombra por animal, a orientação e ventilação, entre outros fatores, como mencionado por Owen et al. (1994).

Por exemplo, ao planejar a instalação de baias individuais fixas para bezerros leiteiros, é recomendado considerar uma área de 1,50 a 1,80 m² por animal. No caso dos bezerros estarem mantidos em casinhas individuais no pasto, é essencial manter uma distância mínima de 2 m entre cada uma delas, proporcionando uma área total de 2,2 a 3,0 m² por bezerra. Essa disposição visa garantir uma ventilação natural adequada, permitindo a renovação do ar e a eliminação dos gases gerados pelo acúmulo de fezes e urina dos animais, tais como monóxido de carbono, metano, amônia e sulfeto de hidrogênio. Além disso, a incidência adequada de raios solares dentro das instalações contribui significativamente para a redução da umidade no ambiente, proporcionando melhor salubridade do ambiente. Para alcançar esse objetivo, é crucial posicionar o bezerreiro de forma a captar a luz solar pela manhã, oferecer proteção contra os ventos e assegurar que o terreno seja bem drenado para evitar o encharcamento do solo (DE OLIVEIRA et al., 2005; GOMES; MADUREIRA, 2016).

A escolha dos materiais de construção adequados para instalações de criação de vacas leiteiras ou bezerros pode trazer um grande diferencial no conforto térmico, garantindo um ambiente mais estável e saudável para os animais em todas as estações do ano. O estudo realizado por Campos et al. (2005) revelou que em regiões com verões rigorosos, onde a temperatura média atinge 31°C, o uso de sombrite (malha de 50% de sombra e aberto em todas as laterais) como opção de sombreamento para os animais tornou-se inviável. Isso se deve ao Índice de Temperatura do Globo e Umidade (ITGU) ter atingido 87,44, excedendo significativamente o limite estabelecido como índice de estresse, de 84,00. Diante desse cenário, os mesmos autores recomendam a adoção de abrigos individuais, como o modelo 'Casinha Tropical', seja aberto ou fechado nas laterais, apresentando valores de ITGU muito próximos ao limite, com 84,03 e 84,54, respectivamente.

De modo geral, estudos conduzidos por diferentes pesquisadores destacam os efeitos benéficos do sombreamento para o gado em variadas condições. Mitlöhner et al. (2001) constataram que o gado alojado sob tecido de polipropileno com 80% de filtragem solar, posicionado a 3 metros de altura, apresentou menor taxa de respiração, maior consumo de ração e ganho de peso, alcançando o peso final 20 dias antes dos animais sem acesso à sombra. Blaine e Nsahlai (2011), na África do Sul, durante o inverno, forneceram 2,87 m² de sombra por cabeça com chapas de ferro corrugado a 5 metros de altura. Eles observaram que os bovinos sombreados tinham peso final maior, melhor ganho de peso, conversão alimentar e diferença de peso na carcaça, além de menor respiração ofegante e maior tempo de descanso, em relação aos animais sem acesso à sombra.



Na Austrália, os bois Angus receberam 3,3 m² de sombra por animal, com tecido de polipropileno preto com 80% de filtragem solar a 4 metros de altura, conforme constatado por Gaughan et al. (2010). Estes pesquisadores observaram redução na temperatura corporal e respiração ofegante, bem como aumento na taxa de crescimento, ganho de peso, peso de acabamento e peso de carcaça quente. Sullivan et al. (2011) investigaram diferentes áreas de sombra (0, 2,0, 3,3 e 4,7 m²/animal) usando tecido solar preto com 70% de filtragem solar a 4 metros de altura. Concluíram que o sombreamento melhorou o bem-estar e o desempenho dos animais, e áreas de sombra superiores a 2,0 m² mostraram melhorias no bem-estar dos bovinos.

Em climas tropicais, Castro-Peréz et al. (2020) observaram que o aumento do espaço de sombra em confinamentos incrementou linearmente o ganho diário e a ingestão de matéria seca, sendo mais notável entre 1,2 e 2,4 m² de sombra por cabeça. Outros estudos indicaram que animais adultos podem se beneficiar com 7 m² de sombra por animal (GASQUE, 2008). Recomenda-se uma altura mínima de 4 metros para a sombra, a fim de evitar interferências no fluxo de ar dentro do curral. Para manter o piso seco, estratégias incluem deixar espaços de 15 cm não sombreados na estrutura (LAGOS et al., 2014).

2.1 PARA AVALIAR O QUANTO OS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO SÃO ISOLANTES O BASTANTE PARA PROPORCIONAR O CONFORTO TÉRMICO AOS ANIMAIS, QUAIS OS MÉTODOS DE AVALIAÇÃO EXISTEM PARA SEREM APLICADOS PARA ESSE OBJETIVO?

Existem várias formas de avaliar a capacidade dos materiais de construção em proporcionar conforto térmico para os animais. Alguns métodos de avaliação mais comumente utilizados incluem:

Coefficiente de Condutividade Térmica (λ): Esse coeficiente indica a habilidade do material em conduzir o calor. Quanto menor o valor de λ , melhor o isolamento térmico do material. Laboratórios especializados podem realizar testes para determinar esse coeficiente.

R-Value ou Valor R: é uma medida que representa a resistência térmica de um material. Quanto maior o R-Value, melhor o isolamento térmico. Esse valor é frequentemente utilizado para isolamentos em paredes, telhados e pisos.

Testes de Laboratório: Laboratórios especializados podem conduzir testes específicos para avaliar o desempenho térmico dos materiais. Testes de condutividade térmica, resistência a fluxo de calor e comportamento em diferentes condições climáticas simuladas são alguns exemplos.

Simulações Computacionais: Modelos computacionais utilizam softwares de simulação para prever o comportamento térmico de materiais e estruturas em diferentes condições climáticas. Isso pode ser útil na fase de planejamento e *design* das instalações para determinar o desempenho térmico esperado. A modelagem por meio da Dinâmica de Fluidos Computacional (CFD) emerge como uma poderosa ferramenta para analisar as condições térmicas ambientais em instalações para vacas leiteiras,



como o compost barn, tão como para aves e suínos. Esse método oferece a oportunidade de aprimorar os projetos e as práticas de gestão nesse tipo de estrutura.

A dinâmica de fluidos computacional é uma ferramenta avançada capaz de simular uma variedade de fenômenos, incluindo transferência de calor e massa, mudanças de fase, reações químicas, entre outros. Isso viabiliza o estudo de modelos computacionais de sistemas físicos em diferentes condições de interesse. Há diversos códigos e softwares CFD disponíveis para atender às necessidades de modelagem da dinâmica de fluidos, aplicáveis a várias áreas de estudo.

No contexto da modelagem de instalações para animais, é crucial que esses códigos possibilitem a modelagem de propriedades dependentes do fluxo, inclusive o fluxo em meios porosos. Além disso, devem permitir que o usuário implemente funções específicas de interesse e possa gerar malhas variadas, adequando-se às particularidades de cada estudo (CHEN et al., 2021). Os autores realizaram uma pesquisa para investigar esquemas alternativos de ventilação de um aviário sem gaiolas (*cage free*) para fornecer projetos práticos para um ambiente interior confortável ao nível das galinhas. De acordo com os resultados do estudo, concluíram que a modelagem computacional de dinâmica de fluidos foi uma ferramenta poderosa que facilitou aos pesquisadores abordar questões de bem-estar animal em projetos de alojamentos para animais.

Nos processos de adoção de materiais de construção, é muito comum seguir Normas e Certificações. Existem normas e certificações específicas para materiais de construção que garantem seu desempenho térmico. Por exemplo, certificados como LEED (Liderança em Energia e Design Ambiental) ou selos de eficiência energética podem ser apresentados por materiais que atendam a determinados critérios de isolamento térmico. No caso da engenharia civil no Brasil, para a construção de edificações para o ser humano, tem-se as seguintes normativas, em vigor, que tratam do desempenho térmico e/ou eficiência energética de edificações, compreendidas em NBR 15.220/ Desempenho térmico de edificações (ABNT, 2005) e a NBR 15.575/ Edificações habitacionais - Desempenho (ABNT, 2013).

Ao considerar os métodos de avaliação, os produtores ou profissionais responsáveis pela construção das instalações podem escolher os materiais mais apropriados para proporcionar conforto térmico adequado aos animais de produção, garantindo assim o bem-estar e a eficiência produtiva.

3 TECNOLOGIAS PARA GARANTIR O CONFORTO TÉRMICO EM INSTALAÇÕES DE ANIMAIS DE PRODUÇÃO

O emprego das tecnologias permite a criação de ambientes controlados, garantindo conforto térmico ideal para os animais de produção, reduzindo o estresse térmico e promovendo condições propícias para o seu bem-estar e desempenho produtivo.



A busca por tecnologias inovadoras e eficientes para garantir o conforto térmico nas instalações de animais de produção tem sido fundamental para promover o bem-estar dos animais e otimizar a produtividade. Diversas tecnologias são empregadas para esse fim:

3.1 SISTEMAS DE VENTILAÇÃO INTELIGENTE

A evolução tecnológica na ventilação de ambientes de produção animal inclui métodos inovadores, como a ventilação controlada por sensores. Esta abordagem utiliza sensores de temperatura e umidade para ajustar automaticamente a ventilação de acordo com as condições climáticas, assegurando um ambiente mais estável e confortável para os animais. Além disso, sistemas de ventilação direcionada são empregados para gerenciar o fluxo de ar de forma estratégica, promovendo uma circulação uniforme e evitando o acúmulo de calor em áreas ou horários específicos.

A predição da ventilação em galpões para o gado tem sido abordada por meio da simulação de dinâmica de fluidos computacional (DFC), uma técnica amplamente utilizada para estimar a taxa de ventilação (TOMASELLO et al., 2019; FAGUNDES et al., 2020; PAKARI; GHANI, 2021). A DFC permite avaliar como os fatores, a exemplo, direção e velocidade do vento, bem como o tamanho das aberturas, influenciam essa taxa (YI et al., 2020). Contudo, a DFC é limitada à simulação de situações específicas, não sendo em tempo real, pois cada cenário requer tempo para convergir, dependendo da capacidade computacional disponível. Esse intervalo de tempo restringe sua aplicação imediata na previsão da ventilação, especialmente quando as condições do vento são variáveis.

Além disso, a precisão da DFC é fortemente influenciada pela expertise do técnico tanto na teoria quanto no uso do software. Como alternativa, métodos estatísticos têm sido empregados para desenvolver modelos preditivos da ventilação em galpões. Esses modelos estatísticos frequentemente se baseiam na correlação entre medidas ambientais, como condições de vento e tamanhos de aberturas, e as taxas de ventilação. Por exemplo, a metodologia de superfície de resposta (RSM) e modelos de rede neural são abordagens comuns para essa previsão (SHEN; ZHANG; BJERG, 2012; AYATA; ARCAKLIOĞLU; YILDIZ, 2007; FERREIRA; FARIA; RUANO, 2002).

O aprendizado de máquina, devido à sua capacidade de modelar a partir de grandes conjuntos de dados, em diversas áreas de pesquisa, sem a necessidade prévia de conhecimento da relação entre entradas e saídas torna-se uma ferramenta útil para os sistemas de produção (BECKER et al., 2021). Vários algoritmos de aprendizado de máquina têm sido testados para prever a relação entre as condições ambientais internas e o comportamento animal (ARULMOZHI et al., 2021; LIU et al., 2014).



3.2 MONITORAMENTO E CONTROLE AUTOMATIZADO:

Sistemas de automação: Utilização de tecnologias de monitoramento automatizado para controlar temperatura, umidade e ventilação, ajustando-os conforme as necessidades dos animais e as condições climáticas em tempo real.

Os sensores usados no auxílio da investigação do conforto térmico dos animais são aqueles colocados estrategicamente para medir a temperatura corporal dos animais, permitindo ajustes precisos nos sistemas de controle ambiental. Segundo Halachmi et al. (2019), atualmente, as tecnologias vestíveis com sensores dominam o mercado na área da pecuária de precisão. A maioria das aplicações nessas fazendas se concentra no monitoramento de etiquetas fixadas nos animais (marcas no pescoço, pernas ou orelhas) ou inseridas no organismo dos mesmos (bolus). Essas aplicações são amplamente utilizadas em animais de grande porte, como vacas leiteiras, gado de corte e cavalos, dada a justificativa econômica de investir em etiquetas de monitoramento individuais, além da disponibilidade de várias áreas para posicionar sensores. Segundo os autores, a tendência para o futuro próximo é que um único sensor, como uma câmera ou robô, possa atender a várias necessidades de monitoramento em um grande número de animais.



REFERÊNCIAS

- ABREU, P. G. de; ABREU, V. M. N. *Lanternim: função e construção*. 1. ed. rev. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2000.
- ABREU, V. M. N.; ABREU, P. G. Os desafios da ambiência sobre os sistemas de aves no Brasil. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.40, n.256, p.1-14, 2011.
- ALMEIDA, E.A; SOUZA, L.F.A; SANT'ANNA, A.C; BAHIENSE, R.N; MACARI, M; FURLAN, R.L. Poultry rearing on perforated plastic floors and the effect on air quality, growth performance, and carcass injuries - Experiment 1: Thermal Comfort. *Poultry Science*, v.96, p. 3155-3162, 2017.
- ARAÚJO, Maria Angélica Gonçalves de. Efeito do manejo de cobertura e ventilação artificial sobre índices de conforto térmico e desempenho de aves de corte. *Dissertação*. Universidade Estadual de Goiás: Goiás. 2011.
- ARRUDA, Daniela Zorzo. Avaliação de ambiente térmico de galpões com e sem isolamento térmico para poedeiras comerciais. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal de Mato Grosso: Rondonópolis – MT. 2018. 27p.
- ARULMOZHI, E.; BASAK, J.K.; SIHALATH, T.; PARK, J.; KIM, H.T.; MOON, B.E. Machine Learning-Based Microclimate Model for Indoor Air Temperature and Relative Humidity Prediction in a Swine Building. *Animals*, v.11, p. 222, 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220: desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575: edifícios habitacionais: desempenho. Rio de Janeiro, 2013. AMARAL et al., 2011
- AYATA, T.; ARCAKLIOĞLU, E.; YILDIZ, O. Application of ANN to explore the potential use of natural ventilation in buildings in Turkey. *Applied Thermal Engineering*, v.27, p.12–20, 2007.
- BAÊTA, F. C.; SOUZA, C. F. *Ambiência em edificações rurais Conforto animal*. 2.ed. Viçosa: UFV. 2010. 246p.
- BARDI, Cassia Cristina Tannuri Gomes. Aplicativo de apoio ao produtor rural na construção da instalação para animais de produção. *Dissertação (Mestre em produção animal)*. Universidade Brasil: Descalvado, 2018. p. 234.
- BECKER, C.A.; AGHALARI, A.; MARUFUZZAMAN, M.; STONE, A.E. Predicting dairy cattle heat stress using machine learning techniques. *Journal Dairy Science*, v.104, p. 501–524, 2021.
- BENSON, B.J.; BOND, B.J.; HAMILTON, M.P.; MONSON, R.K.; HAN, R. Perspectives on next-generation technology for environmental sensor networks. *Frontiers in Ecology and the Environment*, v.8, p.193–200, 2010.
- BINNS, P.; PETROV, R.; LOTT, S. Feedlot shade design – literature review. Report No.: FLOT.315 final report. North Sydney (NSW, Australia): E.A. Systems Pty Limited. 2002.
- BLAINE, K.L.; NSAHLAI, I.V. The effects of shade on performance, carcass classes and behaviour of heat-stressed feedlot cattle at the finisher phase. *Tropical Animal Health Production*, v.43, n.3, p.609-615, 2011.



BROWN-BRANDL, T.M.; EIGENBERG, R.A.; NIENABER, J.A.; HAHN, G.L. Dynamic response indicators of heat stress in shaded and non-shaded feedlot cattle, part 1: analyses of indicators. *Biosystems Engineering*, v.90, n.4, p.451-462, 2005.

BRUST, C.A.; BURGHARDT, T.; GROENENBERG, M.; KADING, C.; KUHL, H.S.; MANGUETTE, M.L.; DENZLER, J. Towards Automated Visual Monitoring of Individual Gorillas in the Wild. In: *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision Workshops*, Venice, Italy, 2017; pp. 2820–2830. Disponível em: <https://openaccess.thecvf.com/content_ICCV_2017_workshops/papers/w41/Brust_Towards_Automated_Visual_ICCV_2017_paper.pdf>. Acesso: 12 nov. 2023.

CAMARGOS, Bruno Henrique Lourenço. Desempenho térmico de galpões industriais equipados com lanternins. 2019. Dissertação. Universidade Federal de Ouro Preto. 2020. 158p.

CAMPOS, A.T.; KLOSOWSKI, E.S.; GASPARINO, E.; CAMPOS, A.T. de; SANTOS, W.B.R. Análise térmica de abrigos individuais móveis e sombrite para Bezerros. *Acta Scientiarum Animal Sciences*, v. 27, n. 1, p. 153-161, 2005.

CASTRO, A. C. D. Avaliação de eficiência térmica de materiais utilizados como sistemas de cobertura em instalações avícolas. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo: Piracicaba, SP. 2012. 98 f.

CASTRO-PÉREZ, B.I.; ESTRADA-ANGULO, A.; RÍOS-RINCÓN, F.G.; NÚÑEZ-BENÍTEZ, V.H.; RIVERA-MÉNDEZ, C.R.; URÍAS-ESTRADA, J.D.; ZINN, R.A.; BARRERAS, A.; PLASCENCIA, A. The influence of shade allocation or total shade plus overhead fan on growth performance, efficiency of dietary energy utilization, and carcass characteristics of feedlot cattle under tropical ambient conditions. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, v.33, n.6, p.1034-1041, 2020.

CENGIZ, Ö; HESS, J.B; BILGILI, S.F. Effect of protein source on the development of footpad dermatitis in broiler chickens reared on different flooring types. *Archiv für Geflügelkunde*, v.77, p. 166-170, 2013.

CHEN, L.; FABIAN-WHEELER, E.E.; CIMBALA, J.M.; HOFSTETTER, D.; PATTERSON, P. Computational Fluid Dynamics Analysis of Alternative Ventilation Schemes in Cage-Free Poultry Housing. *Animals*. 2021; 11(8):2352.

CHEN, Y.; TONG, Z.; ZHENG, Y.; SAMUELSON, H.; NORFORD, L. Transfer learning with deep neural networks for model predictive control of HVAC and natural ventilation in smart buildings. *Journal of Cleaner Production*, v.254, p. 119866, 2020.

CHUPPAVA, B.; VISSCHER, C.; KAMPHUES, J. Effect of different flooring designs on the performance and foot pad health in broilers and turkeys. *Animals*, v.70, p. 1-12, 2018.

CONSTANTINO, Matheus Coitinho. Controle térmico de granja. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Mecânica). Niterói, RJ: Universidade Federal Fluminense, 2018.

DAMASCENO, F.A.; DAY, G.B.; TARABA, J.L.; BARBARI, M.; OLIVEIRA, C.E.A.; FRIGERI, K.D.M.; VIEIRA, F.M.C.; BAMBI, G. Determination of Thermal, Chemical and Physical Properties of Bedding Materials for Compost Dairy Barns. *Animals*, v.12, n.18, p.24502022.



DE OLIVEIRA, A.A.; AZEVEDO, H.C.; MELO, C.B. Criação de bezerras em sistemas de produção de Leite. Embrapa Tabuleiros Costeiros. Aracaju, SE. Dezembro, 2005. Circular Técnica. Disponível em: <http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes_2005/ct-38.pdf>. Acesso 20 de nov de 2023.

EDWARDS-CALLAWAY, L.N.; CRAMER, M.C.; CADARET, C.N.; BIGLER, E.J.; ENGLE, T.E.; WAGNER, J.J.; CLARK, D.L. Impacts of shade on cattle well-being in the beef supply chain. *Journal of Animal Science*, v.99, n.2:skaa375. 2021.

FAGUNDES, B.; DAMASCENO, F.A.; ANDRADE, R.R.; SARAZ, J.A.O.; BARBARI, M.; VEGA, F.A.O.; NASCIMENTO, J.A.C. Comparison of airflow homogeneity in Compost Dairy Barns with different ventilation systems using the CFD model. *Agronomy Research*, v.18, p.788–796. 2020.

FERREIRA, P.M.; FARIA, E.A.; RUANO, A.E. Neural network models in greenhouse air temperature prediction. *Neurocomputing*, v.43, p.51–75, 2002.

FERREIRA, R. A. *Maior produção com melhor ambiente - para aves, suínos e bovinos*. 3a edição, Aprenda Fácil, 528p, 2016.

FERREIRA, R. A. *Maior produção com melhor ambiente para aves, suínos e bovinos*. Viçosa, MG. Aprenda fácil, 2005. 371p.

FRAME, D. D., ANDERSON, G. L. Understanding Static Pressure. *Electronic Publishing - Utah State University*, 3, 1, 2002.

GASQUE, G. R. *Enciclopedia bovina*. Editorial Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 2008. 437p.

GAUGHAN, J. B.; BONNER S.; LOXTON I.; MADER T. L.; LISLE A.; LAWRENCE, R. Effect of shade on body temperature and performance of feedlot steers. *Journal of Animal Science*, v.88, n.12, p.4056-4067, 2010.

GOMES, V.; MADUREIRA, K.M. (2016). Sanidade na criação de bezerras: dos 31 dias ao desmame - Parte III. Disponível em: <<http://www.milkpoint.com.br/radartecnico/medicina-da-producao/sanidade-na-criacao-de-bezerras-dos-31-dias-ao-desmameparte-iii-101953n.aspx/>> Acesso: 09 nov. 2023.

HALACHMI, I; GUARINO, M.; BEWLEY, J.; PASTELL, M. Smart Animal Agriculture: Application of Real-Time Sensors to Improve Animal Well-Being and Production. *Annual Review of Animal Biosciences*, v.15, n.7, p. 403-425, 2019.

KHONGDEE, T; SRIPOON, S; VAJRABUKKA, C. The effects of high temperature and roof modification on physiological responses of swamp buffalo (*Bubalus bubalis*) in the tropics. *International Journal of Biometeorology*, v.57, n.3, p.349-54, 2013.

KUMAR, A.; HANCKE, G.P. A zigbee-based animal health monitoring system. *IEEE Sensors Journal*, v.15, p.610–617, 2014.

LAGOS, G.H.; GONZÁLEZ G.F.J.; CASTILLO, R.F. Paquete tecnológico para la engorda de ganado bovino en corral. (2014). Disponible en: <<http://biblioteca.inifap.gob.mx/>>. Acesso: 15 nov. 2023.

LIU, Y.; ZHUANG, Y.; JI, B.; ZHANG, G.; RONG, L.; TENG, G.; WANG, C. Prediction of laying hen house odor concentrations using machine learning models based on small sample data. *Computers and Electronics in Agriculture*, v.195, p.106849, 2022.



MICHELS, C.; LAMBERTS, R.; GUTHS, S. Evaluation of heat flux reduction provided by the use of radiant barriers in clay tile roofs. *Energy and Buildings*, v.40, p.445-451, 2008.

MILTLÖHNER, F. M.; MORROW J. L.; DAILEY J. W.; WILSON S. C.; GALYEAN M. L.; MILLER M. F.; MCGLONE J. J. Shade and water misting effects on behavior, physiology, performance, and carcass traits of heat-stressed feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, v.79, n.9, p.2327-2335, 2001.

MIRAGLIOTTA, M. Y.; NAAS, I. A.; MANZIONE, R. L.; NASCIMENTO, F. F. Spatial analysis of stress conditions inside broiler house under tunnel ventilation. *Scientia Agricola*, v. 63, n. 5, p. 426–432, 2006.

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.

OBERREUTER, M.E.; HOFF, S.J. Quantifying factors affecting sidewall air inlet performance. *Transactions of the ASAE*, v.43, n.3, p.707, 2000.

OWEN, K.Q.; KNABE, D.A; BURGOON, K.G. et al. Self-selection of diets and lysine requirements of growing finishing swine. *Journal of Animal Science*, n.72, p.554-564, 1994.

PAKARI, A.; GHANI, S. Comparison of different mechanical ventilation systems for dairy cow barns: CFD simulations and field measurements *Computers and Electronics in Agriculture*, v.186, 106207, 2021.

PASSINI, R.; ARAÚJO, M. A. G.; YASUDA, V. M.; ALMEIDA, E. A. Intervenção ambiental na cobertura e ventilação artificial sobre índices de conforto para aves de corte. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17, p.333-338, 2013.

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*, v.11, n.1, p.49-55, 2008.

RORIZ, Maurício. Desempenho térmico e as paredes de concreto. Universidade Federal de São Carlos. Disponível em: < <http://nucleoparededeconcreto.com.br/destaqueinterno/desempenho-termico-e-as-paredes-de-concreto/>>. Acesso em: 10 de novembro 2023.

SANTOS, R. C. et al. Análise de coberturas com telhas de barro e alumínio, utilizadas em instalações animais para duas distintas alturas de pé-direito. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental*, v.6, p.142-146, 2002.

SEVEGNANI, K.B; FILHO, H.G e DA SILVA, I.J.O. Comparação de Vários Materiais de Cobertura Através de Índice de Conforto Térmico. Departamento de Engenharia Rural- ESALQ/USP. *Scientia Agrícola*, jan/abr. p.1-7, 1994.

SHEN, X.; ZHANG, G.; BJERG, B. Assessments of experimental designs in response surface modelling process: Estimating ventilation rate in naturally ventilated livestock buildings *Energy and Buildings*, v. 62, p.570–580, 2013

SHEN, X.; ZHANG, G.; BJERG, B. Comparison of different methods for estimating ventilation rates through wind driven ventilated buildings *Energy and Buildings*, v.54, p.297–306, 2012.



SHEN, X.; ZHANG, G.; BJERG, B. Investigation of response surface methodology for modelling ventilation rate of a naturally ventilated Building. *Energy and Buildings*, v.54, p.174–185, 2012.

SILVA, W. S.; BARBOSA, R. V. R. Influência da frequência de irrigação em telhados verdes no comportamento higrotérmico de edificações em região do semiárido. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2023. Anais [...]. [S. l.], 2023. DOI: 10.46421/encac.v17i1.4142. Disponível em:

<<https://eventos.antac.org.br/index.php/encac/article/view/4142/>>. Acesso em: 19 nov. 2023.

SMITH, K.; MARTINEZ, A.; CRADDOLPH, R.; ERICKSON, H.; ANDRESEN, D.; WARREN, S. An Integrated Cattle Health Monitoring System. In *Proceedings of the 2006 International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, New York, NY, USA, 2006; pp. 4659–4662. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4462841/>>.

SOUZA, B.B.; SILVA, I. J. O.; MELLACE, E.M.; SANTOS, R.F.S.; SANTOS, R. F. S.; ZOTTI, C. A.; GARCIA, P. R. Avaliação do ambiente físico promovido pelo sombreamento sobre o processo termorregulatório em novilhas leiteiras. *Agropecuária Científica no Semiárido*, v.6, n.2, p.59- 65, 2010.

SULLIVAN, M.L.; CAWDELL-SMITH, A.J.; MADER, T.L.; GAUGHAN, J. B. Effect of shade área on performance and welfare of short-fed feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, v.89, p.2911-2925, 2011.

KULDHARAN, S.D.; KADAKE, S.S.; KAMBLE, N.K.; BHAVSAR, M.M.; KISHOR, D.R.; HONWADKAR, N. Cattle Health Monitoring System using IoT. *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*, p.571, 2023.

TAYLOR F.; LINLY, K. O impacto da tecnologia da pecuária na pecuária. Publicado em 03 de julho de 2023. Disponível em: <<https://www.plugandplaytechcenter.com/resources/livestock-farming-technology-animal-agriculture/>>. Acesso em: 14 dez 2023.

TINÔCO, I. Avicultura Industrial: Novos Conceitos de Materiais, Concepções e Técnicas Construtivas Disponíveis para Galpões Avícolas Brasileiros. *Brazilian Journal of Poultry Science*, v. 3, n. 1, p. 01–26, jan. 2001.

TOMASELLO, N.; VALENTI, F.; CASCONI, G.; PORTO, S.M.C. Development of a CFD Model to Simulate Natural Ventilation in a Semi-Open Free-Stall Barn for Dairy Cows. *Buildings*, v. 9, p.183, 2019.

VALLETTA, J.J.; TORNEY, C.; KINGS, M.; THORNTON, A.; MADDEN, J. Applications of machine learning in animal behaviour studies. *Animal Behaviour*, v. 124, p.203–220, 2017.

VILELA, M. O. et al. Sistemas de ventilação na avicultura brasileira: estado da arte. *Brazilian Journal of Biosystems Engineering* v. 14, n.2, p.178-198, 2020.

YI, Q.; ZHANG, G.; LI, H.; WANG, X.; JANKE, D.; AMON, B.; HEMPEL, S.; AMON, T. Estimation of opening discharge coefficient of naturally ventilated dairy buildings by response surface methodology. *Computers and Electronics in Agriculture*, v.169, 105224, 2020.

ZEHNER N, NIEDERHAUSER JJ, NYDEGGER F, GROTHMANN A, KELLER M, HOCH M, HAEUSSERMANN, A, SCHICK, M Validation of a new health monitoring system (RumiWatch) for combined automatic measurement of rumination, feed intake, water intake and locomotion in dairy cows. In: *Proceedings of international conference of agricultural engineering CIGR-Ageng*, p. C0438 (2012).