

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Pacote tecnológico para o diagnóstico do conforto térmico dos
animais de produção**

Sérgio Luís de Castro Júnior

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração:
Engenharia de Sistemas Agrícolas

**Piracicaba
2019**

Sérgio Luís de Castro Júnior
Engenheiro de Biosistemas

**Pacote tecnológico para o diagnóstico do conforto térmico dos animais de
produção**

Orientador:
Prof. Dr. **IRAN JOSÉ OLIVEIRA DA SILVA**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração:
Engenharia de Sistemas Agrícolas

Piracicaba
2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Castro Júnior, Sérgio Luís de

Pacote tecnológico para o diagnóstico do conforto térmico dos animais de produção / Sérgio Luís de Castro Júnior. - - Piracicaba, 2019.

135 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Ambiência 2. Relações psicrométricas 3. Entalpia específica do ar 4. Aplicativo mobile 5. Sensor Arduino. . I. Título

AGRADECIMENTOS

Aos meus guias espirituais, às boas vibrações, às boas energias e às forças da natureza. À Deus. Aos Orixás, aos Santos, à todas as Divindades. Axé pra quem é de Axé, Saravá pra quem é de Saravá, Aleluia pra quem é de Aleluia, Amém pra quem é de Amém, Namastê. Cho Ku Rei.

Ao meu querido pai, Sérgio, minha grande inspiração de pesquisador e ser humano: aquele que é guiado pelo coração, pela curiosidade, pela dedicação e pelo brilho no olhar. A minha querida mãe, Diná, pelo amor incondicional, pelas orações e por cada “vai dar tudo certo”. Tudo deu, tudo dá! A minha querida irmã, Ana, que mesmo tão jovem, tanto me ensina, me guia, me acalanta. Cada vitória minha é uma vitória nossa!

À minha avó, Maria de Lourdes, meu exemplo de fé, bondade e resiliência. Sou fruto das lindas sementes que a senhora planta. Aos meus padrinhos, Regina e Antônio, por estarem sempre por perto, de braços abertos, independente da distância. A todos os meus tios, tias, primos e primas, gratidão!

Ao Gabriel, por oferecer a mão e me acompanhar, de pertinho, nas curvas todas deste caminho, sem deixar que eu voltasse sozinho. Obrigado por deixá-lo mais colorido, florido e alegre. É o que dizem, o amor é AmarElo!

Ao Prof. e amigo Glauber Balthazar, por atender aos meus pedidos de socorro sempre com muita dedicação, muita paciência (muito mesmo!) e prestatividade. Parcerias que surgem no momento certo e que ainda há de colher muitos frutos.

Aos amigos de perto, Maju, Tia Ká, Karen, Jhow, Luan, Simone, todos e tantos. Obrigado por serem e estarem. Aos amigos espalhados pelo mundo, os mais velhos e os mais recentes, cujo carinho ultrapassa a distância e o tempo. Yuri, Sol, Dani, Jeh, Lari, Jussara, Paty, Ryan, Margaret, Lisi, tantas e tantos, obrigado por acalentarem este amigo, muitas vezes ingrato. Quem tem um amigo tem tudo.

À família Onço, família das famílias, selba ib est. Lei, Carlinhos, Rafa Bezerra, Rafa Varotte, Marcão, Nan, Igor Onço, Naiara, Jhenny, Norbertho, Catia Preta, Gabi, aos agregados e a todos que tornam a Semana Euclidiana a melhor semana do meu ano, gratidão! Ao Leandro, em especial, por tudo.

Aos companheiros, amigos e pesquisadores do NUPEA: Aérica, Alessandra, Carol, Cinthia, Cibelle, Gabriel, Glauber, Giovane, João, Karen, Marcela, Marcos,

Mariana Modesto, Mariana Mota, Paala, Vivian, Yuri, a todos com que tanto aprendi, tanto compartilhei e tanto cresci. E tanto que cresci com vocês!

Ao meu orientador, Prof. Dr. Iran José Oliveira da Silva, pelos incentivos, ensinamentos, exigências, confianças e desafios. Obrigado por cada conselho, pessoal e profissional, permitindo com que eu conclua esse caminho mais consciente, encorajado e fortalecido. Gratidão!

Aos meus professores e inspiradores, que compreendem que ciência não se faz sozinho. Gratidão pelas dicas e orientações dos pesquisadores Dra. Débora de Oliveira, Prof. Dr. Fernando Caneppele, Prof. Dr. Juliano Fiorelli, Profa. Dra. Késia Silva Miranda, Profa. Dra. Sandra Cruz, Profa. Dra. Solange Nice, Profa. Dra. Renata Marè, e todos os que, generosamente, iluminaram a trajetória deste sempre-estudante.

Ao programa de pós-graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas, aos funcionários do Departamento de Engenharia de Biossistemas (LEB/ESALQ), em especial a Davilmar, Angela e a Juliana, por todo o suporte, dedicação e paciência.

À Universidade de São Paulo e a Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, por proporcionar este mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

E nestes tempos obscuros, a todos que incentivam e acreditam na ciência, que transcende e ilumina.

*“Entrego,
Confio,
Recebo,
E agradeço.”*

Professor Hermógenes

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT.....	8
LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE TABELAS.....	11
1. INTRODUÇÃO.....	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1. O CLIMA E A PRODUÇÃO ANIMAL	17
2.2. GESTÃO DOS DADOS DE AMBIÊNCIA	35
3. A PSICROMETRIA NO DIAGNÓSTICO DO CONFORTO TÉRMICO DOS ANIMAIS DE PRODUÇÃO: METODOLOGIA E ESTUDO DE CASO	61
RESUMO	61
ABSTRACT.....	61
3.1. INTRODUÇÃO	62
3.2. MATERIAL E MÉTODOS	63
3.3. RESULTADOS.....	68
3.4. DISCUSSÃO	74
3.5. CONCLUSÃO	77
REFERÊNCIAS	78
4. SENSORES DE BAIXO CUSTO PARA A INDICAÇÃO DO NÍVEL DE ESTRESSE TÉRMICO DOS ANIMAIS DE PRODUÇÃO	83
RESUMO	83
ABSTRACT.....	84
4.1. INTRODUÇÃO	84
4.2. MATERIAL E MÉTODOS	86
4.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	93
4.4. CONCLUSÕES	103
REFERÊNCIAS	104
5. DESIGN E VALIDAÇÃO DE UM APLICATIVO MÓVEL PARA O DIAGNÓSTICO DO ESTRESSE TÉRMICO DE ANIMAIS DE PRODUÇÃO.....	109
RESUMO	109
ABSTRACT.....	110
5.1. INTRODUÇÃO	110
5.2. MATERIAL E MÉTODOS.....	112
5.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	120
5.4. CONCLUSÕES	130
REFERÊNCIAS	131
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	135

RESUMO

Pacote tecnológico para o diagnóstico do conforto térmico dos animais de produção

O estresse térmico é um problema multifatorial que coloca em risco a sanidade, o bem-estar e o desempenho produtivo dos animais de produção. O objetivo deste estudo foi desenvolver e validar um pacote tecnológico composto de ferramentas integradas, visando o diagnóstico do estresse térmico em frangos de corte, aves poedeiras, suínos e bovinos de leite, em suas diferentes fases de criação. Este trabalho foi dividido em três etapas, que se sequenciam. A primeira envolveu o desenvolvimento de uma metodologia para o diagnóstico do conforto térmico, utilizando como princípio básico as propriedades psicrométricas do ar. A partir de sete elementos ordenados, a metodologia diagnosticou o estresse térmico a partir de três categorias, como também indicou processos para adequação climática do ambiente, a partir da elaboração de uma árvore de decisão. A metodologia foi validada com um banco de dados de instalações para bezerros, apresentando grande potencial de uso prático. A segunda etapa utilizou os resultados da etapa anterior para desenvolver dois sensores – com armazenamento em cartão de memória (S1) e com comunicação via WiFi (S2) – em plataforma Arduino® para monitoramento e registro do nível de conforto dos animais. Quando calibrados em laboratório e testados em um aviário em escala reduzida-distorcida, ambos os dispositivos apresentaram boa correlação ($R^2 > 0,96$) comparados a um sensor comercial. Os sensores apresentaram baixo custo de desenvolvimento e propriedades técnicas que viabilizam sua utilização, com destaque para S2. Na terceira etapa, foi desenvolvido um aplicativo (app) em sistema operacional Android para o diagnóstico do estresse térmico, comungando diferentes possibilidades de uso (em ambiente aberto, em ambiente fechado, manual e previsão para os sete dias subsequentes). O aplicativo seguiu metodologias de desenvolvimento compiladas pela Engenharia de Software e foi validado por testes de usabilidade aplicados a possíveis usuários (produtores rurais, pesquisadores, estudantes, entre outros). Resultados apontaram que o app – intitulado *Animalcomfort* – possui grande potencial de uso, e que a versão apresentada neste projeto se encontra próxima dos padrões de qualidade observados em dispositivos comerciais. Como conclusão geral, a metodologia (enquanto uma lógica de processamento), os sensores (enquanto tecnológicas de hardware) e o app (representando as tecnologias de software) somam-se em um pacote tecnológico que aproxima os avanços da comunidade científica com as demandas e lacunas do setor produtivo, possibilitando a identificação do conforto térmico dos animais de forma prática, intuitiva, em tempo real e de baixo custo.

Palavras-chave: Ambiência; Relações psicrométricas; Entalpia específica do ar; Aplicativo mobile; Sensor Arduino

ABSTRACT

Technological package for the diagnosis of the thermal comfort of livestock animals

Heat stress is a multifactorial issue that endangers health, welfare and performance of livestock animals. The objective of this study was to develop and validate a technological package composed of integrated tools, in order to diagnose heat stress in broilers, laying hens, pigs and dairy cattle, in their different growing phases. This work was divided into three stages, which are consequential. The first one involved the development of a methodology for the diagnosis of heat stress, using as principle the air psychometric properties. From seven sequential elements, the methodology diagnosed the thermal stress using three categories, besides indicating processes for climatic adaptation of the environment, from the elaboration of a decision tree. The methodology was validated using a calf facility database, showing great potential for practical purposes. The second stage used the results from the previous one to develop two sensors - with data storage on memory card (S1) and WiFi communication (S2) - on Arduino® platform for monitoring and recording the comfort level of livestock animals. When calibrated in laboratory and tested in a small-distorted scale poultry house, both devices showed a good correlation ($R^2 > 0.96$) compared to a commercial sensor. The sensors presented low development cost and technical properties that make their use suitable for use, especially S2. In the third stage, a mobile app was developed in Android for the diagnosis of heat stress in multiple use possibilities (outdoor, indoor, manual and forecast for the next seven days). The app followed development methodologies approached by Software Engineering and was validated by usability tests applied to potential users (farmers, scientists, students, among others). Results indicated that the app - titled *Animalcomfort* - has great potential for use, and the version presented in this project already have quality standards similar to commercial devices. As a general conclusion, the methodology (as a processing logic), the sensors (as hardwares) and the app (representing software technologies) came together as a technological package that brings the advances of the scientific community closer to the demands and gaps from the production sector, enabling the identification of heat stress of livestock animals in a practical, intuitive, real time and low cost manner.

Keywords: Livestock environment; Psychrometric properties; Air specific enthalpy; Mobile app; Arduino sensor

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Termorregulação para os animais homeotérmicos	20
Figura 2. Propriedades da carta psicrométrica.....	30
Figura 3. Valores de entalpia calculados pelas equações de Albright (1990), Villa Nova apud Furlan (2001), Barbosa Filho et al. (2007) e Rodrigues et al. (2011).	33
Figura 4. Valores de entalpia calculados pela equação de Rodrigues et al. (2011), variando os valores de pressão atmosférica local.....	34
Figura 5. Processo de produção de conhecimento a partir dos dados.....	36
Figura 6. Sequência metodológica: elementos (caixas em tons de azul) e seus respectivos resultados individuais (entre as setas).	63
Figura 7. Arvore de decisão genérica para o diagnóstico do conforto térmico	71
Figura 8. Distribuição dos diagnósticos no banco de dados (a) e distribuição da entalpia (b), da temperatura de bulbo seco (c) e da umidade relativa (d) por diagnóstico.	72
Figura 9. Árvores de decisão estruturais, do software Weka®, e sua representação gráfica, utilizando o algoritmo id3 (a) e c4.5 (b).....	73
Figura 10. Diagrama de processamento para o diagnóstico do conforto térmico.....	86
Figura 11. Sensor S1 para medição do net de animais de produção: (a) esquema de montagem e (b) sensor desenvolvido. Legenda: 1 - Arduino® UNO; 2 – DHT11; 3 – Display LCD; 4 – Potenciômetro; 5 – RTC DS231; 6 – Modulo cartão sd mini.	89
Figura 12. Arquitetura do sensor S2: componentes integrados (setas contínuas) e suas respectivas ferramentas de programação (setas pontilhadas).	90
Figura 13. Sensor S2 para medição do NET de animais de produção: (a) esquema de montagem e (b) sensor desenvolvido. Legenda: 1 - NODEMCU ESP8266; 2 – DHT11; 3 – Display LCD.	90
Figura 14. Diagramas de fluxo dos sensores: blocos em azul representam o processamento no próprio sensor; blocos em verde indicam processamento fora do sensor.	93
Figura 15. Ferramentas de leitura de dados do F1: no sensor (a) e no excel (b); e do S2: no sensor (c) e nas planilhas em nuvem e excel (d).....	95
Figura 16. Gráficos de dispersão para S1: temperatura de bulbo seco (a) e umidade relativa (b) e para S2: temperatura de bulbo seco (c) e umidade relativa (d). Período total de observação: 24 horas.	96
Figura 17. Sistema de funcionamento-base do aplicativo: dados de entrada (blocos em azul), processamento (bloco em amarelo) e saídas (blocos em verde).	112
Figura 18. Arquitetura do aplicativo e seus elementos integrados	116
Figura 19. Diagrama de casos de uso para o projeto do <i>Animalcomfort</i>	120
Figura 20. <i>Storyboard</i> representativo do design das telas do aplicativo	123

Figura 21. Sprints de desenvolvimento do aplicativo, baseados na metodologia Scrum	124
Figura 22. Conjunto de telas desenvolvidas no app: (a) tela inicial; (b) tela para leitura pelo sensor; (c) tela de registro e (d) excel com os registros exportados.	126
Figura 23. Frequência geral de respostas do questionário de usabilidade: (a) layout, (b) terminologia, (c) aprendizagem e (d) impressões gerais.....	128

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Zonas de conforto e termoneutralidade de aves de corte, considerando a temperatura de bulbo seco e a umidade relativa.....	22
Tabela 2. Zonas de conforto e termoneutralidade de suínos, considerando a temperatura de bulbo seco e a umidade relativa.....	24
Tabela 3. Zonas de conforto e termoneutralidade de bovinos leiteiros, considerando a temperatura de bulbo seco e a umidade relativa.....	25
Tabela 4. Zonas de conforto e termoneutralidade de aves poedeiras, considerando a temperatura de bulbo seco e a umidade relativa.....	27
Tabela 5. Utilização do arduino para coleta e processamento de dados microclimáticos (temperatura do ar e umidade relativa).....	41
Tabela 6. Aplicativos móveis para diagnóstico do conforto térmico	43
Tabela 7. Produções de interesse e suas respectivas fases de criação	64
Tabela 8. Diagnósticos possíveis para os problemas de estresse térmico	67
Tabela 9. Zonas de termoneutralidade para tbs e ur para as fases de criação baseadas na revisão bibliográfica	69
Tabela 10. Zonas de termoneutralidade para a entalpia (em kj/kg de ar seco).....	70
Tabela 11. Classificação dos diagnósticos de estresse térmico.....	88
Tabela 12. Métodos de regressão para a calibração da temperatura de bulbo seco (n=17280).....	97
Tabela 13. Métodos de regressão para a calibração da umidade relativa (n=17280)	98
Tabela 14. Estatística descritiva comparativa na validação dos sensores	99
Tabela 15. Orçamento dos componentes dos sensores	100
Tabela 16. Propriedades técnicas dos sensores.....	102
Tabela 17. Funções de trabalho do sistema	114
Tabela 18. Questionário para teste de satisfação do usuário	119
Tabela 19. Resultados gerais da avaliação da efetividade técnica do aplicativo e da eficiência relativa do usuário	127

1. INTRODUÇÃO

Na cadeia de produção animal, uma das grandes problemáticas que atingem tanto os pequenos quanto os grandes produtores é o efeito do ambiente térmico no desempenho zootécnico e no bem-estar dos animais. Esta preocupação, que é compartilhada para a grande maioria das espécies produtivas, se exponencia em países de clima tropical e subtropical – como o Brasil – onde é comum alcançar altas temperaturas durante boa parte do ano.

A investigação dos efeitos do estresse térmico nos animais vem avançando, por parte da comunidade científica, ao longo das últimas décadas. Relatos na literatura evidenciam, dessa forma, as alterações a curto e longo prazo na fisiologia, no comportamento e no desempenho de frangos de corte, suínos, bovinos de leite e aves poedeiras, quando estes estão submetidos à ambientes que exigem gasto energético para manter sua homeostase.

Em contrapartida, quando nos atentamos ao setor produtivo, principalmente nas pequenas e médias propriedades, ainda há grande dificuldade de mensurar o nível de estresse térmico dos animais, o que impossibilita seus gestores de traçar melhores estratégias para reduzir os efeitos deletérios do estresse.

Enquanto uma primeira problemática que impossibilita a mensuração eficiente do estresse térmico, destaca-se a carência de sensores que colem as variáveis microclimáticas do ambiente de alojamento dos animais em tempo real, de custo acessível e que indiquem possíveis caminhos para as tomadas de decisão. Em outros casos, a coleta se resume no acompanhamento da temperatura ambiente, que, sozinha, não é o suficiente para caracterizar com profundidade a situação de estresse térmico dos animais.

Nesse cenário, estimar o conforto térmico dos animais torna-se uma demanda consoante aos fundamentos da Zootecnia de Precisão, que visa incorporar sensores e atuadores para as mais diversas etapas de manejo nas fazendas. Maiores oportunidades ainda surgem com a adoção crescente de dispositivos desenvolvidos em plataforma Arduino®, que propõe alternativas de sensoriamento a partir de dispositivos de fácil manipulação e de baixo custo.

A segunda lacuna se refere à interpretação destes dados microclimáticos. Mesmo quando os dados são coletados, ainda é um desafio gerenciá-los de forma a identificar, de fato, a situação de estresse térmico. Em outras palavras, tais dados

não dão origem a informações conclusivas e práticas. Embora a literatura apresente metodologias de classificação do conforto térmico – como os índices de conforto e as relações psicrométricas do ar –, tais práticas muitas vezes não estão consolidadas no cotidiano das fazendas.

Em paralelo, a gestão e interpretação de dados vem ganhando maior praticidade com o impulsionamento dos aplicativos móveis, que permitem tomadas de decisão em tempo real e orientadas ao usuário. Os aplicativos já são uma realidade na produção animal – dentro da revolução digital proposta pela Agricultura 4.0 –, embora sejam poucas as ferramentas que propõem o diagnóstico do estresse térmico dos animais.

Em suma, quando é discutido a gestão de dados microclimáticos, deparamos com o déficit de sistemas de coleta de dados (sensores) nos sistemas produtivos, além da carência de ferramentas práticas que auxiliem o produtor rural a gerenciar e interpretar as informações. Neste trabalho, consideramos como pacote tecnológico o conjunto de ferramentas integradas que agem sobre ambas as questões. O pacote tecnológico sugere, portanto, o desenvolvimento de dispositivos independentes – como hardwares e softwares – que podem ser integrados de maneira a promover a melhor gestão da informação e permitir tomadas de decisão mais concretas.

Dessa maneira, o objetivo principal desta dissertação foi desenvolver e validar um pacote tecnológico integrado – composto por uma metodologia-base e duas ferramentas (hardware e software) – visando o diagnóstico do conforto térmico dos animais de produção a partir das relações psicrométricas do ar.

Os objetivos específicos foram:

1. Elaborar e validar uma metodologia avaliativa para o diagnóstico do estresse térmico dos animais, em diferentes fases de criação;
2. Desenvolver, calibrar e avaliar tecnicamente sensores de baixo custo para estimar o nível de estresse térmico dos animais de produção;
3. Projetar e desenvolver, além de validar sob o ponto do usuário, um aplicativo móvel elaborado no sistema operacional Android para o diagnóstico da situação de conforto térmico dos animais de produção.

Guiando-se por tais objetivos, esta dissertação é apresentada em quatro capítulos – desconsiderando esta introdução e as considerações finais – que possuem resultados independentes, mas complementares.

O primeiro deles apresenta a revisão bibliográfica, no intuito de compreender os efeitos do estresse térmico na produção animal e catalogar suas metodologias de mensuração, seguindo para o estado da arte das tecnologias – softwares e hardwares – utilizadas para monitorar os ambientes de alojamento de caráter zootécnico.

O segundo capítulo, intitulado “*A psicrometria no diagnóstico do conforto térmico dos animais de produção: metodologia e estudo de caso*”, apresenta o desenvolvimento de uma metodologia prática para determinação do estresse térmico baseado nos princípios da entalpia específica do ar.

Já o terceiro capítulo, intitulado “*Sensores de baixo custo para a indicação do nível de estresse térmico dos animais de produção*”, descreve o desenvolvimento, calibração e avaliação de dispositivos hardware utilizando como princípio de funcionamento a metodologia proposta no capítulo anterior.

Por fim, o quarto capítulo, cujo título é “*Design e validação de um aplicativo móvel para o diagnóstico do estresse térmico de animais de produção*”, relata a elaboração e avaliação de um software, associando a este os resultados dos dois capítulos antecedentes.

Este último capítulo encerra, assim, o desenvolvimento de um pacote tecnológico, que é constituído de um dispositivo hardware de coleta; um software que age enquanto uma interface homem-máquina; e uma metodologia prática de gestão de dados microclimáticos que resulta no diagnóstico do conforto térmico dos animais de produção.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. O clima e a produção animal

O clima representa um conjunto de elementos atmosféricos combinados e característicos de uma determinada região. Inclui-se, portanto, a temperatura ambiente, a umidade relativa, a precipitação, a velocidade do vento, a radiação, a pressão barométrica, entre outras variáveis meteorológicas, que variam ao redor do globo terrestre em função da latitude, condições evaporativas, disponibilidade de água, elevação, ventos prevalentes e demais propriedades geográficas (Johnson, 1987).

O Brasil, com sua vasta extensão territorial, se localiza na zona intertropical do planeta, com exceção da região Sul do país. Nestas características, nosso território acolhe uma profusão de climas distintos: Álvaro et al. (2017) destaca regiões de clima tropical (no Norte, Centro-oeste e litoral brasileiro), clima semiárido (característico do Nordeste) e clima subtropical úmido (no Sul e parte do Sudeste). Em grande porção do país, mesmo nas regiões de propriedades particulares, é típico obter temperaturas altas ao longo de todo o ano.

Para a produção animal, países de clima quente enfrentam como um dos seus principais gargalos a exposição desses animais em condições climáticas adversas, muitas vezes inadequadas à espécie. Somando-se a isso, questionamentos sobre o futuro da produção animal colocam como um dos principais pontos de debate os efeitos das mudanças climáticas nos próximos anos (IPCC, 2017; Rojas-Downing et al., 2017).

Mesmo em ambientes cobertos, que protegem os animais das intempéries climáticas, problemas térmicos são regulares devido à alta densidade de alojamento dos animais, má utilização dos recursos naturais (como sol e vento) e demais fatores que influenciam diretamente na produção e nas trocas de calor entre animal e meio (Mathur e Horst, 1994).

Dessa maneira, a criação de animais em climas que promovem situações criticamente quentes torna-se comprometida. A curto prazo, as alterações fisiológicas e comportamentais dos animais comprometem o bem-estar, a reprodução, a sanidade e a performance zootécnica da criação, que são traduzidos em resultados não satisfatórios dos produtos finais (ovos, leite e carne) (Bloemhof et al., 2013; Sanker et al., 2013). A longo prazo, estudos apontam que as mudanças

climáticas previstas para o futuro próximo conferem novas problemáticas na sanidade - principalmente na distribuição de patógenos causadores de doenças -, no fornecimento de alimento, água e na mortalidade dos animais (Collier e Gebremedhin, 2015; Lacetera, 2015).

A avicultura de corte, por exemplo, é bastante influenciada pelas variações meteorológicas, desde que os animais, mesmo vivendo cerca de 42 dias nos sistemas comerciais, necessitam de condições termicamente distintas ao longo do ciclo produtivo. Lara e Rostagno (2013) relatam que frangos submetidos a estresse térmico crônico apresentam queda no consumo de ração, perda de peso, pior conversão alimentar e menor crescimento. O comprometimento dos índices zootécnicos pelo estresse térmico afeta a qualidade do produto final, aumentando a ocorrência de carne PSE (pálida, mole e exudativa) (Wang et al., 2017) e diminuindo o percentual de carne do peito, que é de grande interesse econômico (Lara e Rostagno, 2013).

Os efeitos das variáveis climáticas críticas também são encontrados na avicultura de postura. Estudiosos apontam que, em casos de desconforto térmico, é recorrente a diminuição da ingestão de alimento e maior apatia – as aves exercem menos atividades físicas, além de apresentam perdas produtivas na quantidade (menos ovos produzidos) e na qualidade (menor peso do ovo, menor porcentagem de casca, menor unidade Haugh e menor índice de gema) do produto final (Costa et al., 2012; Silva et al., 2012; Oliveira et al., 2014).

Já na produção suinícola, efeitos do estresse térmico são evidenciados na queda do consumo de ração, na composição de carcaça (maior deposição de gordura adiposa, em detrimento de músculo), em desordens metabólicas, comprometimento da reprodução (tanto para cachas quanto em matrizes), entre outras etapas do processo de criação (Ross et al., 2015). Nas porcas em gestação, o estresse causado pelas altas temperaturas afeta o número de abortos, mortalidade embrionária, tempo da gestação e o peso dos leitões ao nascimento (Lucy e Safranski, 2017).

Considerando a bovinocultura leiteira, diversos estudos relatam a influência do clima no bem-estar e na produtividade dos animais, principalmente para as vacas em lactação. Bertocchi et al. (2014) e Herbut et al. (2018) descrevem que o principal efeito negativo do estresse térmico é a redução da produção e da qualidade do leite, havendo também respostas na reprodução e fertilidade das vacas – causadas por

influências negativas na detecção de estro. Nos bois, o estresse acarreta em baixa produção de esperma, enquanto que para bezerros e novilhas, climas quentes se correlacionam com menor imunidade, menor taxa de crescimento e menor tamanho corporal (West, 2003; Padilla et al., 2006).

Saint-Pierre et al. (2003) realizaram, nos Estados Unidos, um levantamento para estimar o impacto econômico do estresse térmico. Menor quantificação dos danos foram observados na avicultura de corte, cujas perdas chegaram a 51.8 milhões de dólares. Na produção de ovos, os autores indicaram que o estresse por calor gerou um prejuízo econômico de cerca de 98.1 milhões de dólares, enquanto a suinocultura, por sua vez, a perda anual esteve entre 299 e 316 milhões de dólares. Os maiores prejuízos, entretanto, foram observados na cadeia do leite, onde perdas econômicas devido ao clima figuraram entre 897 milhões e 1.5 bilhões de dólares.

2.1.1. Estresse térmico e termoneutralidade

O estresse térmico pode ser definido, de acordo com o Dikmen e Hansen (2009) e Ferrari et al. (2013), como a soma de forças externas – proveniente do ambiente – que atuam em um animal, causando o aumento da sua temperatura corporal e exigindo, a partir disso, uma resposta fisiológica e/ou comportamental.

Fisiologicamente, o estresse térmico ocorre porque os animais de produção são seres homeotérmicos, isto é, possuem a capacidade de manter a temperatura interna do organismo relativamente constante, apesar das flutuações térmicas do ambiente. Henry et al. (2012) destacam que os animais homeotérmicos manipulam a temperatura corporal dentro de um intervalo de ± 0.5 °C, de maneira a não lesionar as funções do organismo.

O processo de controle biológico da temperatura corporal interna é reconhecido como termorregulação, onde o balanço de energia térmica característico do animal é representado pelo equacionamento da produção de calor metabólico, do ganho de calor do ambiente pela radiação, convecção e condução, além das perdas de calor para o meio através da transpiração e respiração (Renaudeau et al., 2011). Segundo Dantas et al. (2012), tais termos – expressos em W/m^2 - representam a perda de calor sensível (não evaporativo, como a condução, a radiação e a convecção), mais recorrente em ambientes frios, e de calor latente (evaporativo), mais recorrente em ambientes quentes (Figura 1).

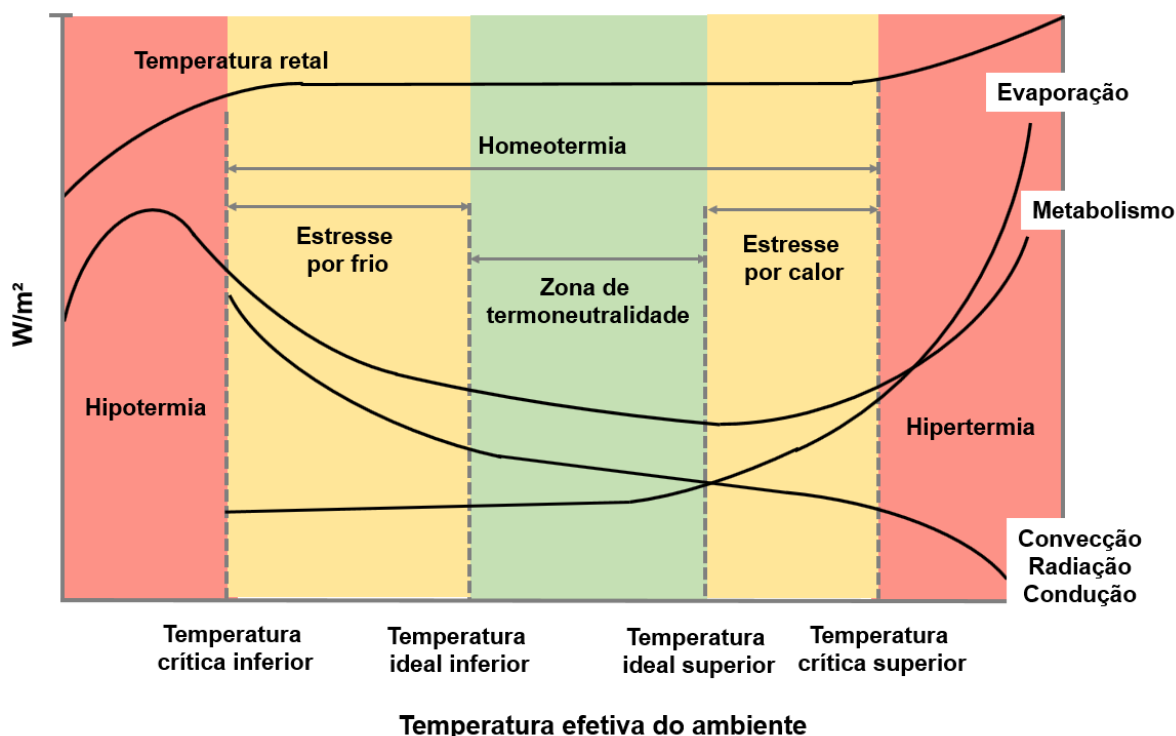


Figura 1. Termorregulação para os animais homeotérmicos (Adaptado de Dantas et al., 2012)

Animais dentro da zona de termoneutralidade (faixa destacada em verde na Figura 1) estão em conforto térmico. Nestas condições, de acordo com Baêta e Souza (2010) e Polsky e Von Keyserlingk (2017), o ambiente de alojamento dos animais produtivos favorecem o sistema fisiológico, pois não há exigência de acionamento dos mecanismos para manter o organismo em equilíbrio térmico.

Nas zonas de estresse por frio e por calor (faixas destacadas em amarelo na Figura 1), o organismo animal necessita dispor de recursos energéticos para manter a homeostase. Silva (2000) destaca que tais recursos estão integrados nos centros termorreguladores do hipotálamo, podendo ser classificados como autônomos, adaptativos ou comportamentais.

Conforme Baêta e Souza (2010), casos de hiper e hipotermia (em vermelho, na Figura 1) expõem os animais a situações críticas de sobrevivência, podendo levá-los à óbito. Tais casos, que variam de acordo com a intensidade da exposição e a duração destes eventos, tornam-se ainda mais agudos com os efeitos negativos das ondas de calor – recorrentes em países tropicais – no desempenho e na mortalidade de bovinos (Vitali et al., 2015; Morignat et al., 2018), suínos (Lacetera, 2015) e aves (Vale et al., 2016; Riquena et al., 2019).

2.1.2. Avaliação do ambiente: uma interpretação das variáveis individuais

Compreendendo a importância e os efeitos do estresse térmico na produção animal, torna-se necessário avaliar os ambientes aos quais os animais estão abrigados. Para fins produtivos e acadêmicos, as variáveis microclimáticas¹ do ar vêm sendo utilizadas para avaliar a situação de conforto térmico dos animais de produção, com destaque para a temperatura de bulbo seco e a umidade relativa.

Destarte, diversos autores, ao longo dos últimos anos, se propuseram a estabelecer as faixas ideais, enquanto zonas de conforto térmico (ZCT), e as faixas críticas inferior (ZCI) e superior (ZCS), tanto para a temperatura ambiente quanto para a umidade relativa. Este item sintetiza tais trabalhos, classificando-os de acordo com a espécie e suas respectivas fases de criação, já que as zonas de conforto variam de acordo com a idade/fase de crescimento destes animais (Ribeiro et al., 2018).

A Tabela 1 sumariza o mapeamento das zonas termoneutras e de conforto para os frangos de corte, subdividas nas 6 semanas de produção comercial. Nota-se que muitos trabalhos oferecem as faixas ideais para todas as idades, sendo relativamente constante o número de trabalhos para cada fase de criação.

¹ Compreendemos enquanto microclima as características ambientais – temperatura, umidade relativa, velocidade do vento, entre outros – presentes no interior das instalações, sendo àquelas que estão em contato direto com o animal. O macroclima, por sua vez, consideramos como o ambiente não controlado externo aos galpões, enquanto elementos que causam efeito direto no microclima. Ambos os termos serão recorrentes ao longo de toda a dissertação.

Tabela 1. Zonas de conforto e termoneutralidade de aves de corte, considerando a temperatura de bulbo seco e a umidade relativa

Aves de corte	Temperatura de bulbo seco (°C)			Umidade relativa (%)		
	ZCI	ZCT	ZCS	ZCI	ZCT	ZCS
1ª semana						
Curtis (1983)	34	35	39	-	-	-
Leal e Nääs (1992)	30	33-35	39	-	60	80
Macari e Furlan (2001)	-	33-35	-	-	60-70	-
Souza (2005)	-	33-37	-	-	-	-
Manual Cobb (2009)	-	32-33	-	-	30-50	-
Menegali et al. (2009)	-	32-34	-	-	50-70	-
Abreu e Abreu (2011)	-	32-35	-	-	60-70	-
Cassuce (2011)	-	32-34	-	-	-	-
Freeman (1968), Macari et al. (2002) e Avila (2004) apud Cassuce (2011)	-	32-34	-	-	-	-
Cândido et al. (2016)	-	33	-	-	-	-
2ª semana						
Curtis (1983)	34	35	39	-	-	-
Leal e Nääs (1992)	34	30-33	37	-	60	80
Souza (2005)	-	21-28	-	-	-	-
Manual Cobb (2009)	-	29-30	-	-	40-60	-
Menegali et al. (2009)	-	28-32	-	-	50-70	-
Abreu e Abreu (2011)	-	29-32	-	-	60-70	-
Cassuce (2011)	-	28-32	-	-	-	-
Freeman (1968), Macari et al. (2002) e Avila (2004) apud Cassuce (2011)	-	28-31	-	-	-	-
Cândido et al. (2016)	-	30	-	-	-	-
3ª semana						
Curtis (1983)	15	18-28	32	-	-	-
Leal e Nääs (1992)	23	27-30	34	-	60	80
Manual Cobb (2009)	-	27-28	-	-	50-60	-
Menegali et al. (2009)	-	26-28	-	-	50-70	-
Abreu e Abreu (2011)	-	26-29	-	-	60-70	-
Cassuce (2011)	-	26-28	-	-	-	-
Freeman (1968), Macari et al. (2002) e Avila (2004) apud Cassuce (2011)	-	26-28	-	-	-	-
Cândido et al. (2016)	-	27	-	-	-	-
4ª semana						
Curtis (1983)	15	18-28	32	-	-	-
Leal e Nääs (1992)	20	24-27	31	-	60	80
Baêta e Souza (1997)	-	18-28	-	-	50-70	-
Tinoco (1998)	-	16-23	-	-	-	-
Tinoco (2004)	-	15-26	-	-	50-70	-
Manual Cobb (2009)	-	24-26	-	-	50-60	-
Abreu e Abreu (2011)	-	23-26	-	-	60-70	-
Cassuce (2011)	-	24-26	-	-	-	-
Freeman (1968), Macari et al. (2002) e Avila (2004) apud Cassuce (2011)	-	24-26	-	-	-	-
5ª semana						
Curtis (1983)	15	18-28	32	-	-	-
Leal e Nääs (1992)	17	21-24	28	-	60	80
Baêta e Souza (1997)	-	18-28	-	-	50-70	-
Tinoco (1998)	-	16-23	-	-	-	-

Tinôco (2004)	-	15-26	-	-	50-70	-
Manual Cobb (2009)	-	21-23	-	-	50-70	-
Abreu e Abreu (2011)	-	20-23	-	-	60-70	-
Cassuce (2011)	-	18-24	-	-	-	-
Freeman (1968), Macari et al. (2002) e Avila (2004) apud Cassuce (2011)	-	18-24	-	-	-	-
6ª semana						
Curtis (1983)	15	18-28	32	-	-	-
Leal e Nääs (1992)	14	18-21	25	-	60	80
Baêta e Souza (1997)	-	18-28	-	-	50-70	-
Tinôco (1998)	-	16-23	-	-	-	-
Macari e Furlan (2001)	-	21-23	-	-	60-70	-
Tinôco (2004)	-	15-26	-	-	50-70	-
Manual Cobb (2009)	-	19-21	-	-	50-70	-
Cassuce (2011)	-	18-24	-	-	-	-
Freeman (1968), Macari et al. (2002) e Avila (2004) apud Cassuce (2011)	-	18-24	-	-	-	-
Abreu e Abreu (2011)	-	20	-	-	60-70	-

A Tabela 2, por sua vez, apresenta o mapeamento das zonas termoneutras e de conforto para suínos. Uma maior quantidade de trabalhos foi registrada para matrizes e leitões, que são estágios de criação que exigem maior atenção, pois convivendo em um mesmo ambiente, demandam processos de climatização distintos.

Tabela 2. Zonas de conforto e termoneutralidade de suínos, considerando a temperatura de bulbo seco e a umidade relativa

Suínos		Temperatura de bulbo seco (°C)			Umidade relativa (%)		
Autores		ZCI	ZCT	ZCS	ZCI	ZCT	ZCS
Matrizes							
Veit e Troutt (1982)		-	-	-	-	50-70	-
Perdomo (1995)		7	12-18	23	-	-	-
Nienaber et al. (1987)		-	-	-	-	60-70	-
Noblet et al. (1989)		-	8-23	-	-	-	-
Leal e Nääs (1992)		0	12-18	30	40	70	80
Black et al. (1993)		-	12-22	-	-	-	-
Bauza e Petrocelly (1986) apud Miyada (1996)		-	10-15	-	-	-	-
Baeta e Souza, 1997		-	16-22	-	-	-	-
Lucas e Cruz (1997)		-	8-23	-	-	-	-
Silva (1999)		-	18-21	-	-	50-70	-
Moura (1999)		-	18-21	-	-	-	-
Hannas (1999)		0	12-18	30	-	50-70	-
Bridi (2010)		-	12-18	27	-	40-70	-
Mostaço (2014)		5	12-17	25	-	-	-
Cachaços							
Perdomo et al. (1985)		11	12-21	26	-	-	-
Nienaber et al. (1987)		-	-	-	-	60-70	-
Leal e Nääs (1992)		0	12-18	30	40	70	80
Bauza e Petrocelly (1986) apud Miyada (1996)		-	12-18	-	-	-	-
Mostaço (2014)		7	14-21	27	-	-	-
Maternidade							
Veit e Troutt (1982)		-	-	-	-	50-70	-
Nienaber et al. (1987)		-	-	-	-	60-70	-
Sobestiansky et al. (1987)		-	32-34	-	-	-	-
Leal e Nääs (1992)		15	30-32	35	40	70	80
Black et al. (1993)		-	30-37	-	-	-	-
Bauza e Petrocelly (1986) apud Miyada (1996)		-	28-30	-	-	-	-
Hannas (1999)		15	27-28	35	-	-	-
Silva (1999)		-	22-25	-	-	50-70	-
Bridi (2010)		-	30-32	35	-	40-70	-
Mostaço (2014)		20	30-32	36	-	-	-
Creche							
Nienaber et al. (1987)		-	-	-	-	60-70	-
Le Dividich (1991)		-	22-25	-	-	-	-
Leal e Nääs (1992)		10	21-22	31	40	70	80
Bauza e Petrocelly (1986) apud Miyada (1996)		-	20-23	-	-	-	-
Silva (1999)		8	20-24	31	-	50-70	-
Hannas (1999)		10	21-24	31	-	-	-
Mostaço (2014)		10	18-24	31	-	-	-
Crescimento							
Nienaber et al. (1987)		-	-	-	-	60-70	-
Leal e Nääs (1992)		5	16-18	27	40	70	80
Bauza e Petrocelly (1986) apud Miyada (1996)		-	15-18	-	-	-	-

Hannas (1999)	5	16-18	27	-	50-70	-
Silva (1999)	-	18-21	-	-	50-70	-
Mostaço (2014)	7	16-21	28	-	-	-
Terminação						
Perdomo et al. (1985)	11	12-21	26	-	-	-
Nienaber et al. (1987)	-	-	-	-	60-70	-
Leal e Nääs (1992)	5	12-18	27	40	70	80
Bauza e Petrocelly (1986) apud Miyada (1996)	-	10-15	-	-	-	-
Hannas (1999)	5	16-18	27	-	50-70	-
Silva (1999)	-	18-21	-	-	50-70	-
Bridi (2010)	-	12-18	27	-	40-70	-
Mostaço (2014)	5	12-21	27	-	-	-

A Tabela 3 oferece o mapeamento das zonas termoneutras e de conforto para bovinos de leite. Maior destaque é dado para as vacas em lactação, já que estas carregam maiores riscos econômicos ao produzirem a matéria-prima do empreendimento. Como o grande problema para as vacas leiteiras é a exposição em altas temperaturas, alguns trabalhos (não catalogados) apresentam somente a temperatura superior crítica (ex: Igono et al., 1992; Dickmen e Hansen, 2009).

Tabela 3. Zonas de conforto e termoneutralidade de bovinos leiteiros, considerando a temperatura de bulbo seco e a umidade relativa

Bovinos	Temperatura de bulbo seco (°C)			Umidade relativa (%)		
	ZCI	ZCT	ZCS	ZCI	ZCT	ZCS
Bezerros						
Curtis (1983)	10	18-21	26	-	-	-
WMO (1989)	10	18-25	30	-	-	-
Leal e Nääs (1992)	8	16-21	23	30	70-80	-
Dalcin (2013)	-	-	-	-	50-70	-
AHDB (2018)	-	15-20	-	-	-	-
Novilhas						
WMO (1989)	-5	8-26	30	-	-	-
Leal e Nääs (1992)	-5	12-19	25	30	70-80	-
Nääs (1998)	-	10-26	32	-	-	-
Conceição (2008)	-	18-26	-	-	-	-
Dalcin (2013)	-	-	-	-	50-70	-
Vacas em lactação						
NRC (1981)	-	14-18	-	-	-	-
Yousef (1985)	-	6-21	-	-	-	-
Nääs (1989)	5	13-18	24	-	-	-
Stevens et al. apud Nääs (1989)	-	7-21	30	-	-	-
Huber (1990)	5	-	26	-	-	-
Leal e Nääs (1992)	-5	12-18	25	30	70-80	-
Baeta e Souza (1997)	-	0-16	27	-	-	-
Nääs (1998)	-	5-24	30	-	-	-
Roelfeldt (1998)	-	5-25	-	-	-	-

Stowell (2000)	-	6-15	25	-	-	-
Johnson (1987) apud West (2003)	-	0-20	-	-	-	-
Pereira (2005)	-	0-16	-	-	-	-
Curtis (1981) e Hafez (1973) apud Azevêdo e Alves (2009)	-10	0-17	27	-	-	-
Gonçalves et al. (2009)	5	10-20	25	-	-	-
Bridi (2010)	-	5-21	-	-	-	-
Dalcin (2013)	-	-	-	-	50-70	-
Garcia (2017)	5	12-18	25	30	50-70	80
Vacas secas						
NRC (1981)	-	14-18	-	-	-	-
Yousef (1985)	-	6-21	-	-	-	-
Nääs (1989)	5	13-18	24	-	-	-
WMO (1989)	-15	5-15	26	-	-	-
Huber (1990)	5	-	26	-	-	-
Leal e Nääs (1992)	-5	12-18	25	30	70-80	-
Baeta e Souza (1997)	-	0-16	-	-	-	-
Pereira (2005)	-	0-16	-	-	-	-
Curtis (1981) e Hafez (1973) apud Azevêdo e Alves (2009)	-10	0-17	27	-	-	-
Bridi (2010)	-	6-21	-	-	-	-
Dalcin (2013)	-	-	-	-	50-70	-
Touros						
NRC (1981)	-	14-18	-	-	-	-
Huber (1990)	5	-	26	-	-	-
Pereira (2005)	-	0-16	-	-	-	-
Curtis (1981) e Hafez (1973) apud Azevêdo e Alves (2009)	-10	0-17	27	-	-	-
Bridi (2010)	-	5-21	-	-	-	-
Dalcin (2013)	-	-	-	-	50-70	-

A Tabela 4, por fim, apresenta o mapeamento das zonas termoneutras e de conforto para as aves poedeiras. Comparado às outras produções, as galinhas de postura apresentam uma menor quantidade de relatos científicos. Ademais, assim como as vacas de leite, a literatura privilegia as aves em fase de postura, produtoras diretas do ovo, quando comparado aos outros estágios de criação.

Tabela 4. Zonas de conforto e termoneutralidade de aves poedeiras, considerando a temperatura de bulbo seco e a umidade relativa

Aves de Postura	Temperatura de bulbo seco (°C)			Umidade relativa (%)		
	ZCI	ZCT	ZCS	ZCI	ZCT	ZCS
Aves recém-nascidas						
Ferreira (2005)	-	33-34	-	-	40-80	-
Manual Hy Line W-36 (2016)	-	32-35	-	-	60	-
Ferreira (2016) e Santos et al. (2012) apud Andrade (2017)	-	33-34	-	-	40-80	-
Andrade (2017)	-	33	-	-	-	-
UBA (2008)	-	32-35	-	-	40-70	-
Manual Hy Line Brown (2018)	-	33-36	-	-	60	-
Teeter e Belay (1996)	-	35	-	-	-	-
Cria						
Manual Hy Line (2016)	-	18-25	-	-	40-60	-
Andrade (2017)	-	23-28	-	-	-	-
UBA (2008)	-	20-27	-	-	40-70	-
Manual Hy Line Brown (2018)	-	18-25	-	-	40-60	-
Recria						
Teeter e Belay (1996)	-	24	-	-	-	-
Tinoco (2001)	-	15-25	-	-	50-70	-
UBA (2008)	-	20-27	-	-	40-70	-
Holik (2009)	-	18-24	30	-	-	-
Manual Hy Line (2016)	-	18-25	-	-	40-60	-
Andrade (2017)	-	19	-	-	-	-
Manual Hy Line Brown (2018)	-	18-25	-	-	40-60	-
Postura						
Leal e Nääs (1992)	5	11-22	30	-	-	-
Teeter e Belay (1996)	-	24	-	-	-	-
Baêta e Souza (1997)	-	20-30	-	-	50-70	-
Lesson e Summers (1997)	19	24	27	-	-	-
Silva e Sevegnani (2001)	-	21-28	-	-	-	-
Tinoco (2001)	-	15-25	-	-	50-70	-
Ferreira (2005)	-	15-28	-	-	40-80	-
UBA (2008)	-	20-27	-	-	40-70	-
Holik (2009)	-	18-24	30	-	-	-
Manual Hy-Line (201)	-	18-25	-	-	40-60	-
Ferreira (2016) e Santos et al. (2012) apud Andrade (2017)	-	14-28	-	-	40-80	-
Manual Hy Line Brown (2018)	-	18-25	-	-	40-60	-

É possível notar divergências na definição das faixas termoneutras e críticas para todos os animais, dentro de uma mesma fase. Tal característica afeta a discussão dos resultados dos trabalhos que os utilizam como referência, interferindo nas tomadas de decisão nos estudos de ambiência. A partir desse banco de dados, este trabalho apresenta, nos capítulos subsequentes, as faixas atualizadas e padronizadas de conforto térmico para a temperatura ambiente e a umidade relativa, sintetizando os resultados catalogados pelos autores aqui citados.

2.1.3. Avaliação do ambiente: uma interpretação das variáveis em conjunto

Embora a temperatura de bulbo seco e a umidade relativa do ar, isoladamente, sejam parâmetros de referência para avaliar o conforto térmico dos animais, Ricci et al. (2013) pontuam a importância de considerar a combinação de ambas as variáveis para a melhor compreensão do comportamento do ambiente. Ademais, o ar se configura enquanto um sistema complexo e dinâmico, cujas propriedades físicas se interdependem. Nos estudos de ambiência, duas abordagens que combinam as propriedades do ar são comumente utilizadas: os índices de conforto térmico e as relações psicrométricas do ar.

Com o intuito de compreender os impactos das propriedades físicas do ambiente na criação de animais, os índices de conforto térmico vêm sendo desenvolvidos e utilizados enquanto guias para a tomada de decisão, permitindo evitar ou minimizar os efeitos do estresse térmico.

O procedimento de utilização dos índices envolve a mensuração da magnitude do desconforto térmico, que é dividido em categorias (ex: normal, alerta, em perigo e emergencial) de acordo com valores referência para cada espécie animal. Tais recursos tornam-se essenciais para a avaliação e projeto das construções rurais (Azizpour et al., 2013), pois as informações geradas dão subsídios para explorar o maior potencial térmico das instalações e para adotar os melhores recursos de climatização artificial (ventilação, nebulização, aspersão, entre outros).

Um dos primeiros índices de conforto descritos na literatura foi o Índice de Temperatura e Umidade, ITU, desenvolvido inicialmente para humanos e amplamente utilizado na produção animal. O ITU, proposto por Thom (1959), é resultante da combinação da temperatura de bulbo seco e da temperatura do ponto de orvalho.

Com os conceitos físicos característicos da temperatura de globo negro – que possibilita uma aproximação mais fiel da sensação de conforto térmico dos animais por sua correlação com a temperatura corporal – Buffington (1981) propôs o Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade, ITGU, enquanto uma derivação do ITU.

Já outros índices exploram as demais variáveis meteorológicas que também caracterizam o ambiente. Como exemplo, a Carga Térmica Radicante, CTR, proposta por Esmay (1979), adiciona a velocidade do vento em seus cálculos, e este

índice se caracteriza como a radiação total recebida por um corpo em um espaço circundante. O Índice de Conforto Térmico, ICT, por sua vez, incorpora a velocidade do vento e a pressão de vapor d'água em seu equacionamento (Barbosa e Silva, 1995). Há também índices de conforto que enfocam uma espécie de produção específica, como é o caso do Índice Térmico Ambiental de Produtividade Para Frangos de Corte, IAPfc (Medeiros, 2005) e o Índice de Conforto Térmico para Bovinos de Leite, ICTbl (Tonello, 2011).

A partir dos índices, estudiosos elaboraram parâmetros para classificar a situação de conforto dos animais de produção a partir do resultado obtido (Thom, 1959, apud Oliveira Junior, 2016; Hahn, 1985; Baêta, 1985; Lima, 2007), garantindo grande utilização prática. Por outro lado, Martello et al. (2004) apresentam algumas ressalvas quanto ao uso dos índices de conforto, que podem se tornar ferramentas genéricas ao utilizar valores padronizados que não recortam situações específicas do desenvolvimento fisiológico dos animais.

Além dos índices de conforto, outra abordagem científica utilizada para estudar os efeitos conjuntos das variáveis microclimáticas no desempenho das instalações rurais são as relações psicrométricas do ar. A psicrometria é definida como a ciência que investiga as mudanças das propriedades do ar úmido, seguindo os critérios físicos, as convenções e as hipóteses propostas pela American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers – ASHRAE (2005).

Britto (2010) destaca que as propriedades da mistura entre o vapor d'água e o ar seco podem ser diagramadas nas Cartas Psicrométricas (Figura 2), que são elaboradas seguindo uma pressão atmosférica de referência – a Carta Psicrométrica padrão considera a pressão atmosférica a nível do mar (760 mmHg). A partir de um ponto P da Carta Psicrométrica, é possível determinar as variáveis psicrométricas do ar que dependem de P e se interdependem, sendo tais variáveis a temperatura de bulbo seco, a temperatura de ponto de orvalho, a temperatura de bulbo úmido, a umidade relativa, a razão de mistura (ou umidade específica), o volume específico e a entalpia.

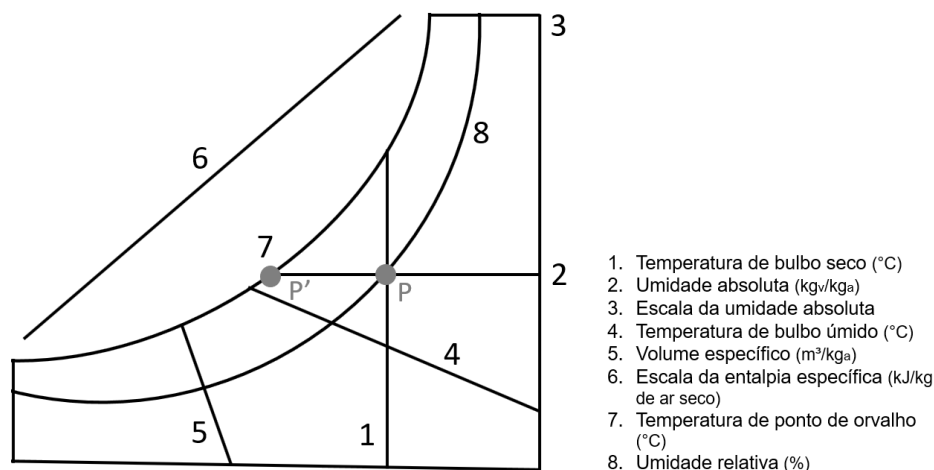


Figura 2. Propriedades da Carta Psicrométrica (Adaptado de Silva, 2014)

A partir da variação psicrométrica de um determinado sistema (de um ponto P para um ponto P'), é possível traçar estratégias para controle dos ambientes, nominadas por Britto (2010) como tratamentos termoigrométricos do ar. Entre os processos de modificação das propriedades físicas do ar ambiente, destacam-se o resfriamento simples, o resfriamento adiabático, o resfriamento associado a desumidificação, a umidificação simples, o aquecimento simples, a desumidificação associada ao aquecimento e a umidificação e resfriamento não adiabático (Britto, 2010). Nota-se que tais procedimentos se relacionam com as ações integradas de secar, umidificar, resfriar e aquecer o ambiente.

2.1.4. Entalpia específica do ar

A entalpia pode ser reconhecida como uma variável psicrométrica do ar e um índice de conforto térmico, comungando ambas as abordagens avaliativas do ambiente de produção animal. Fisicamente, a entalpia específica do ar (h) é definida como a quantidade total de energia presente em uma unidade de massa de ar seco (kJ/Kg de ar seco). A energia característica nos processos psicrométricos é o calor – energia térmica que flui entre os corpos, por meio da diferença de temperatura entre eles (Britto, 2010).

A entalpia, sendo a única grandeza das variáveis psicrométricas que engloba o conceito de energia térmica no ambiente, compreende a soma do calor latente e do calor sensível. O calor sensível – ou calor específico - corresponde àquele que promove uma variação de temperatura no corpo sem que este passe por mudança de estado de agregação. O calor latente, por sua vez, não promove

modificações na temperatura, mas sim mudanças de estado físico (Dal Piva et al., 2008). Possuindo tais propriedades, a justificativa da utilização da entalpia enquanto um índice de conforto está na aplicação destes conceitos físicos de troca de calor com as relações entre animal e meio, conforme apresentado no item 2.2.1.

A entalpia específica do ar (h) é determinada pelo equacionamento das outras variáveis de interesse psicrométrico. Albright (1900) propôs a determinação da entalpia por meio da combinação da temperatura de bulbo seco e da razão de mistura, ou razão de umidade, do ar (Eq 1).

$$h = 1,006T_{bs} + w (2501 + 1,805T_{bs}) \quad \text{Eq.1}$$

Onde:

h = entalpia específica do ar (kJ/Kg de ar seco);

T_{bs} = temperatura de bulbo seco (°C)

w = razão de mistura (g de vapor da água/Kg de ar seco)

A utilização da equação de Albright (1990) vem sendo utilizada ao longos dos anos para avaliação de instalações para frangos de corte (Nazareno et al., 2009; Ferraz et al., 2018), vacas leiteiras (Almeida et al., 2011; Silva et al., 2015) e suínos (Pandorfi et al., 2004; Pandorfi et al., 2008; Nazareno et al., 2012; Silva-Miranda et al., 2012; Borges et al., 2018; Nepomuceno et al., 2018), consolidando, assim, a entalpia enquanto um índice de conforto térmico cientificamente relevante.

Furlan (2001), de acordo com dados não publicados de Villa Nova (1999), apresentou uma nova equação para o cálculo da entalpia (Eq. 2), utilizando-a para avaliação de diferentes manejos e sistemas de resfriamento para ambientes protegidos para cultivos agrícolas. A equação foi baseada na temperatura de bulbo seco e na umidade relativa, que são grandezas físicas facilmente mensuráveis, além de serem mais conhecidas da comunidade produtora quando comparado à razão de mistura.

$$h = (6,7 + 0,243T_{bs} + 2,216 * (\left(\frac{UR}{100} \right) * 10^{\left[\frac{7,5T_{bs}}{237,3+T_{bs}} \right]} - 1)) \quad \text{Eq. 2}$$

Onde:

h = entalpia específica do ar (Kcal/Kg de ar seco);

T_{bs} = temperatura de bulbo seco (°C)

UR = umidade relativa (%)

A equação anterior posteriormente foi adaptada por Barbosa Filho et al. (2007), Eq. 3, mantendo a unidade da entalpia específica utilizada por Albright (1990). Como exemplos, Damasceno et al. (2010), Camelo et al. (2015) e Dalólio et al. (2016) utilizaram, em seus estudos de ambiência, as equações adaptadas por Furlan (2001) e Barbosa Filho et al. (2007).

$$h = (6,7 + 0,243T_{bs} + \left(\frac{UR}{100}\right) * 10^{\left[\frac{7,5T_{bs}}{237,3 + T_{bs}}\right]}) * 4,18 \quad \text{Eq.3}$$

Onde:

h = entalpia específica do ar (kJ/Kg de ar seco);

T_{bs} = temperatura de bulbo seco (°C)

UR = umidade relativa (%)

Entretanto, as equações anteriores não consideraram em suas formulações algumas propriedades relativas aos princípios físicos das relações psicrométricas. Britto (2010) e Beltrán-Prieto et al. (2015) destacam que as variações psicrométricas do ar variam de acordo com a pressão atmosférica local, a partir de sua relação direta com o volume e a temperatura das massas de ar. Para preencher tal lacuna, Rodrigues et al. (2011) adicionaram a pressão atmosférica local no cálculo da entalpia, Eq. 4, seguindo as considerações físicas apresentadas nas notas técnicas da ASHARAE (2009) e tendo como ponto de partida a equação de Albright (1990).

$$h = 1,006T_{bs} + \left(\frac{UR}{Pa}\right) * 10^{\left[\frac{7,5T_{bs}}{237,3 + T_{bs}}\right]} * (71,28 + 0,052T_{bs}) \quad \text{Eq. 4}$$

Onde:

h = entalpia específica do ar (kJ/Kg de ar seco);

T_{bs} = temperatura de bulbo seco (°C)

UR = umidade relativa (%)

Pa = pressão atmosférica local (mmHg)

O equacionamento da entalpia proposta por Rodrigues et al. (2011) foi utilizada na avaliação de diversos sistemas de produção animal, sendo assim aplicada, por exemplo, nos trabalhos de Queiroz et al. (2017) e Camargo et al. (2015) para frangos de corte, Nazareno et al. (2013) para ovos férteis, Almeida Neto et al. (2014) e Barnabé et al. (2015) para vacas e bezerras leiteiras, Sevensnani et al. (2016) para búfalas, e Nunes et al. (2014) para suínos.

Garcia (2017), em seus estudos com vacas leiteiras, comparou as equações de entalpia propostas por Albright (1990), Furlan (2001), Barbosa Filho et al. (2007) e Rodrigues et al. (2011) (Figura 3). Para o cálculo da razão de mistura (w) e da entalpia de Rodrigues et al (2011), foi estabelecido a pressão atmosférica de 760 mmHg.

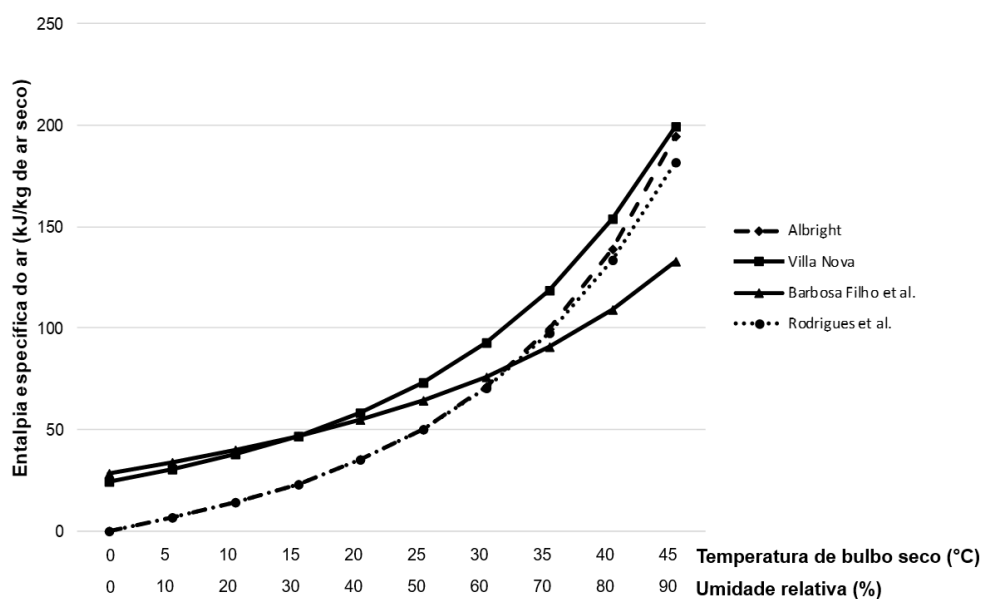


Figura 3. Valores de entalpia calculados pelas equações de Albright (1990), Villa Nova apud Furlan (2001), Barbosa Filho et al. (2007) e Rodrigues et al. (2011) (Adaptado de Garcia, 2017).

Embora todas as curvas sigam um padrão exponencial crescente, as equações de Villa Nova apud Furlan (2001) e de Barbosa Filho et al. (2007) apresentam as maiores divergências, quando comparadas ao cálculo apresentado por Albright (1990). Conforme destacado por Garcia (2017), os valores de entalpia calculados pelo método de Villa Nova apud Furlan (2001) estão superestimados, utilizando Albright (1990) como referência. Já o método de Barbosa Filho et al. (2007) apresenta valores superestimados em situações de baixa temperatura e baixa umidade e valores subestimados em casos de temperatura e umidade alta.

A equação corrigida por Rodrigues et al. (2011) apresenta os valores brutos de entalpia mais próximos do cálculo de Albright (1990). Os resultados são coerentes pois em ambos os casos é necessário considerar a pressão atmosférica local no cálculo da entalpia. Reconhecendo assim a importância desta variável microclimática, a Figura 4 apresenta o comportamento das curvas de entalpia considerando as variações de pressão atmosférica local.

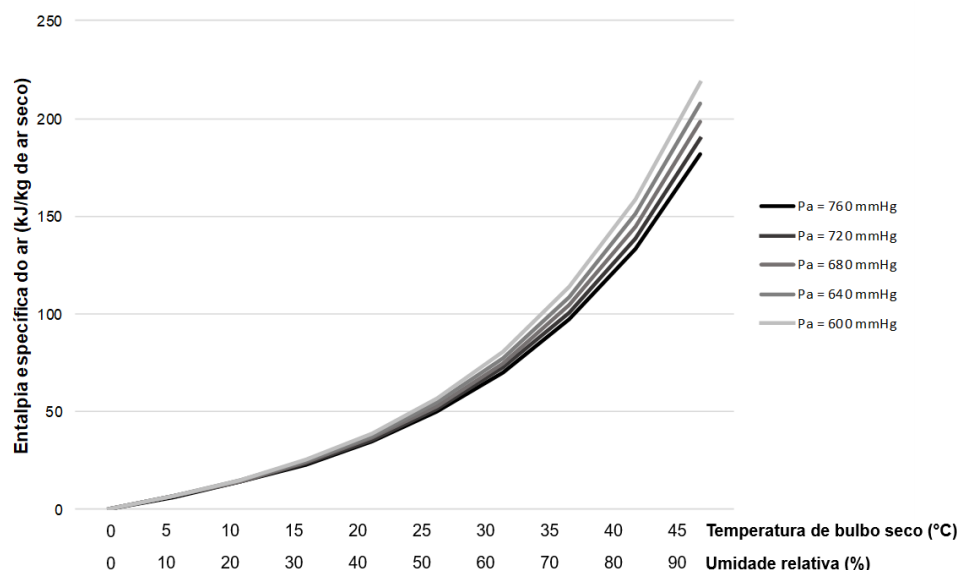


Figura 4. Valores de entalpia calculados pela equação de Rodrigues et al. (2011), variando os valores de pressão atmosférica local.

Nota-se que a pressão atmosférica local influencia na leitura da entalpia, principalmente quando a temperatura de bulbo seco e a umidade relativa estão altas. Em locais de baixa altitude (próximas do nível do mar, com Pa próximo a 760 mmHg), a leitura da entalpia é menor quando comparado à locais de alta altitude e menor pressão. Considerando uma temperatura de bulbo seco de 45 °C e umidade relativa de 90%, a entalpia específica calculada é de 182,03 kJ/kg de ar seco para localidades a nível do mar (Pa = 760 mmHg). Sob as mesmas condições, o valor da entalpia é de 211,57 kJ/kg de ar seco para Campos do Jordão-SP, cidade brasileira de maior altitude (Pa = 625 mmHg). Portanto, à mesma temperatura e umidade relativa, a amplitude da entalpia entre os dois extremos nacionais foi de 29,54 kJ/kg de ar seco.

De modo prático, o cálculo da entalpia baseado na temperatura de bulbo seco e na umidade relativa, conforme proposto por Rodrigues et al. (2011), torna-se mais rápido e de fácil mensuração, quando comparado com a utilização da razão de mistura pela equação de Albright (1990).

Além de aplicar a entalpia específica do ar na avaliação dos ambientes de produção animal, autores desenvolveram padronizações para classificar a entalpia de acordo com as faixas de conforto dos animais de produção. Barbosa Filho et al. (2007), por exemplo, utilizaram a equação de Furlan (2001) para desenvolver tabelas práticas de classificação do conforto térmico a partir da entalpia. A

classificação desenvolvida contemplou as situações de conforto (associado à cor verde), atenção (cor amarela), crítica (cor laranja) e letal (cor vermelha).

Queiroz et al. (2012), por sua vez, adaptaram a metodologia de classificação de Barbosa Filho et al. (2007), utilizando desta vez as considerações matemáticas propostas por Rodrigues et al. (2011). As novas tabelas práticas foram desenvolvidas para frangos de corte ao longo do ciclo de produção, considerando a pressão atmosférica (760 mmHg) como valor fixo.

Em suma, embora a entalpia proposta por Rodrigues et al. (2011) se estabeleça enquanto um método avaliativo do conforto térmico dos animais de produção, ainda é necessário refinar e aprimorar o processo de classificação do conforto térmico, considerando as variações da pressão atmosférica local e expandindo os parâmetros de referência para animais de produção.

2.2. Gestão dos dados de ambiência

O sucesso de qualquer empreendimento é consequência da gestão eficiente dos dados coletados e processados, pois só assim é possível tomar decisões mais concretas e assertivas. Hazen et al. (2014) destacam a atual preocupação quanto à coleta e gerência dos dados – do qual emergiu a ciência dos dados -, que é somado aos questionamentos futuros sobre as predições analíticas destes por ferramentas inteligentes e o crescimento de sistemas “Big Data”.

Mesmo em um processo de tecnificação mais lento quando comparado com outras indústrias, a gestão dos dados vem ganhando evidência na cadeia de produção animal. Nas fazendas, por exemplo, um grande volume de dados é gerado, proveniente das caracterizações fisiológicas e sanitárias dos animais, da logística de operação e de manejo, assim como do ambiente em que os animais estão inseridos (Yassin et al., 2011).

Duan et al. (2017) descrevem que os dados, em conjunto, devem oferecer subsídios para gerar alguma informação sobre determinado sistema, aplicando tais dados dentro de um contexto. O acúmulo de informações, por sua vez, deve dar origem a um conhecimento, compreendendo como determinado fenômeno influencia tal sistema. A figura 5 adapta tal afirmativa para o contexto dos dados microclimáticos em instalações zootécnicas.

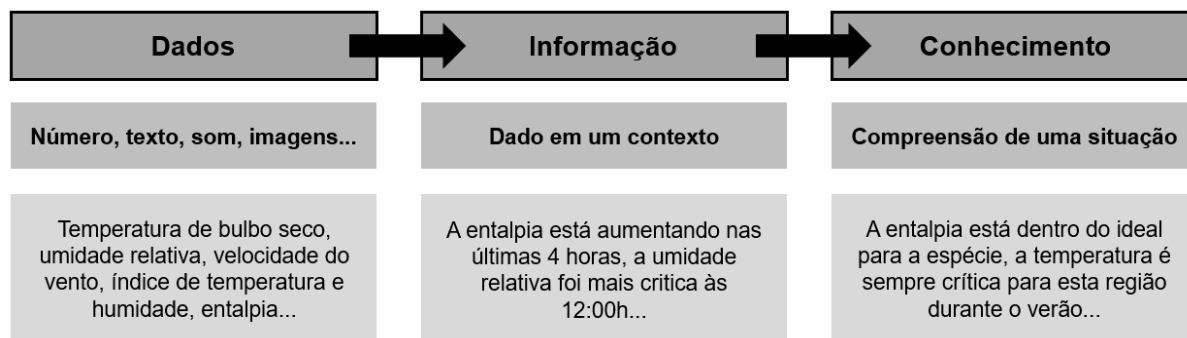


Figura 5. Processo de produção de conhecimento a partir dos dados

De acordo com Bellinger et al. (2004), dados são os resultados de um processo de medição e/ou observações e percepções documentadas. Considerando os dados microclimáticos de interesse zootécnico, destaca-se a temperatura de bulbo seco, a umidade relativa do ar, a velocidade do vento, a precipitação (em ambientes abertos), a radiação solar e a pressão atmosférica. Ademais, os índices de conforto – como a entalpia específica do ar – também podem ser caracterizados enquanto dados, pois mesmo combinando os elementos climáticos, ainda são valores pontuais e isolados.

As informações, descrevendo sucintamente, são dados processados. As informações envolvem a utilização de métricas, que são medidas de desempenho que permitem identificar comportamentos e tendências de um atributo ou variável (Bellinger et al., 2004; Liew, 2007). Para a avaliação de dados microclimáticos, é recorrente a utilização de análises temporais, isto é, como o conjunto de dados se comporta ao longo do tempo. Tal recurso, utilizado em diversos estudos de ambiência (ex: Pandorfi et al., 2008; Nazareno et al., 2013; Barnabé et al., 2015), oferece aportes para identificar pontos críticos relacionados a uma fase do dia ou a um período do ano.

O conhecimento, por fim, é um conjunto de informações transformadas em experiência. Para gerar conhecimento, de acordo com Bellinger et al. (2004) e Liew (2007) é comum utilizar indicadores aplicados às informações, que são dispositivos que comparam a métrica com um resultado padrão ou esperado. Na avaliação dos ambientes agrícolas, é comum utilizar como indicadores os parâmetros referenciais de conforto de temperatura, umidade relativa e índices de conforto, conforme discutidos nos itens anteriores.

O processo de transformar dados em informação e informação para conhecimento ilustra o processo ideal de tomada decisão, que é baseada em dados

e informações corretas e concretas (Wolfert et al., 2017), podendo ser aplicado no cotidiano das fazendas de forma manual ou automatizado. Erros comuns nesse processo são: tomadas de decisão tomadas somente com medidas (dados); ausência de compilação de dados para gerar informações; conhecimento errôneo baseado em informações incoerentes; entre outros.

Pham e Stack (2018) destacam, de modo geral, que a gestão de dados é a próxima grande fronteira de crescimento da agricultura, com potencial de investimento de 20 bilhões de dólares, utilizando informações da Monsanto. A DuPont Pioneer, por sua vez, afirma que serviços relacionados a análises de dados agrícolas podem movimentar 500 milhões de dólares por ano para as próximas décadas.

Os principais problemas sobre a coleta e o processamento de dados microclimáticos serão discutidos nos próximos tópicos. Enquanto problemas relacionados aos dados, destaca-se a falta de coleta de variáveis importantes do ambiente e a utilização de fontes de baixa qualidade. Enquanto problemas relacionados ao processamento/informação, tem-se como desafios a carência da interpretação dos dados e da correlação destes com demais variáveis de interesse.

2.2.1. Problemas relacionados aos dados

Fazendas de produção animal são sistemas complexos, sendo muitas vezes não caracterizadas em sua totalidade pela não coleta de dados importantes. Yassin et al. (2009), ao discorrerem sobre a qualidade de dados na cadeia de produção avícola, afirmaram que ao avaliar problemas do setor – como a mortalidade das aves e a baixa taxa de eclodibilidade dos ovos – muitos indicadores importantes não foram considerados e coletados, gerando assim conclusões incompletas. Além disso, os autores observaram informações faltantes no banco de dados das variáveis que foram coletadas, sendo este um segundo problema relacionado à coleta de dados.

Considerando os dados microclimáticos, a comunidade científica e produtora concordam que a variável de maior interesse para avaliação do estresse térmico dos animais de produção é a temperatura de bulbo seco (temperatura ambiente), por ter ação direta na termorregulação dos animais (Brown-Brandl et al., 2003; Nienaber e Hahn, 2007). Por conseguinte, muitas vezes a decisão é tomada baseado-se somente nesta característica, o que é comum na programação de muitos

controladores lógicos programáveis para acionamento automático de ventiladores. Em outros casos, os equipamentos de climatização são acionados diariamente no mesmo horário, sem nenhum critério de coleta de dados, o que pode resultar na continuidade do estresse térmico dos animais e no consumo de energia desnecessário.

Sob esta ótica, ao proporem um protocolo padrão para coleta de dados de granjas de criação de matrizes, incubatórios e granjas de produção de frangos de corte, Yassin et al. (2011) sugeriram a temperatura ambiente e a umidade relativa enquanto fatores de risco para o sucesso de todas estas instalações, adicionando tais variáveis microclimáticas no conjunto geral de dados a serem coletados. Mesmo assim, a coleta da temperatura, somente, não permite o cálculo dos índices de conforto e conseqüentemente possibilita a interpretação do estresse térmico de forma unidirecional.

Dentre outras problemáticas recorrentes no diagnóstico do estresse térmico dos animais de produção, sob o ponto de vista da aquisição de dados, é sobrelevado a utilização de fontes de dados não adequadas, como sensores descalibrados e estações meteorológicas muito distantes do local avaliado (Fiebrich et al., 2006). Por fim, além da fonte, a temporalidade dos dados pode se tornar outro gargalo. Muitos sistemas, principalmente com coleta manual, não permitem o acompanhamento em tempo real dos dados microclimáticos, não permitindo, conseqüentemente, tomadas de decisão de ação imediata, seja ela preventiva ou curativa.

2.2.2. Problemas relacionados à informação

Com os grandes avanços da zootecnia de precisão, uma grande quantidade de dispositivos eletrônicos – tantos sensores quanto atuadores – são desenvolvidos para os mais diferentes propósitos e etapas de manejo da produção animal. Ainda assim, é recorrente a falta de interpretação dos dados coletados por estes sensores, além da maioria deles não serem integrados e não oferecerem suporte para decisão orientado para os dados (Rutten et al., 2013).

Sendo assim, produtores rurais e stakeholders (como técnicos, veterinários, entre outros) - de acordo com Van Hertem et al. (2017) e Werkheiser (2018) – muitas vezes não possuem conhecimentos específicos para operar ferramentas complexas propostas pela zootecnia de precisão. Ao ponderar sobre o sensoriamento e a coleta

de dados relevantes para o empreendimento rural, observa-se que muitos valores apurados não produzem, de fato, uma informação.

Em experiências práticas, é recorrente o monitoramento pelas propriedades rurais das variações ambientes internas e externas dos galpões, porém, muitos desses dados são catalogados e analisados individualmente, sem nenhuma correlação entre eles e não indicando ou associando a real situação de estresse térmico dos animais.

Van Hertem et al. (2017), por exemplo, propuseram a coleta integrada de dados no interior (temperatura de bulbo seco, umidade relativa e CO₂) e exterior (temperatura de bulbo seco e velocidade do vento) de instalações para suínos, integrando-os com dados sanitários. Pela análise em tempo real proposta pelos autores, foi observado que quedas bruscas de temperatura externa resultaram, cerca de 5 dias depois, em aumento de problemas respiratórios nos suínos, devido ao mal manejo dos ventiladores que proporcionaram um ambiente interno ainda mais frio.

A longo prazo, problemas relacionados com a qualidade da informação gerada a partir de dados microclimáticos serão sanados com os adventos de melhores ferramentas de medição dos dados e metodologias avaliativas que aportam os conceitos de *Machine Learning*, Internet das Coisas e *Big Data*. A exemplo, Ilapakurti e Vuppapalapati (2015) apresentaram um protótipo de arquitetura de software para bovinos de leite criados na Índia que considera diferentes métodos de coleta de dados (estações meteorológicas e sensores no interior dos galpões) no cálculo ITU para o diagnóstico do conforto térmico, correlacionando estes resultados com outras exigências da produção (como manejo sanitário e produção de leite). Este exemplo mostra que, independentemente do sistema de aquisição de dados, a correlação entre as variáveis mensuradas é fundamental para favorecer a tomada de decisão, não só de forma imediatista em tempo real, mas associada ao histórico de ocorrências e os reflexos no plantel ao longo do tempo.

2.2.3. Tecnologias para avaliação do conforto térmico

Com o intuito de garantir uma produção animal mais eficiente e que corresponda às expectativas do futuro, uma série de tecnologias vem sendo incorporadas ao meio rural, que se moderniza exponencialmente ao longo dos

últimos anos. Como destacam Wolfert et al. (2017), para aumentar o potencial produtivo e diminuir possíveis riscos econômicos e ambientais, a preocupação de aprimorar os métodos de coleta de dados e gerir melhor a informação dos sistemas agrícolas vem ganhando cada vez mais importância, sendo este o princípio básico das atuais “fazendas inteligentes” e da “agropecuária 4.0”.

Tratando-se da avaliação microclimática dos ambientes de produção animal, alguns estudos vêm propondo tecnologias para coletar tais dados e correlacioná-los com o estresse térmico dos animais. Alguns trabalhos possuem enfoque no desenvolvimento de hardwares, enquanto equipamentos físicos microcontroladores associados a aparatos eletrônicos (ex: sensores e atuadores). Outros, por sua vez, exploram o desenvolvimento de softwares, atuando no processamento, interpretação e instrução das atividades lógicas das máquinas-hardware.

Dentro da categoria de hardwares, alguns trabalhos destacam o Arduino®, que é uma plataforma de prototipagem de código aberto que ganhou grande destaque internacional ao se estabelecer enquanto uma ferramenta de fácil uso para programadores iniciantes (Haugen e Moore, 2014). O componente físico do Arduino® é composto por um microcontrolador integrado, somado a portas de comunicação para processar dados (entrada) e realizar tarefas (saídas).

D’ausilio (2012) ressalta que o Arduino® é uma ferramenta multifuncional ao ser compatível com diversos sensores de baixo custo para medições físicas, incluindo aqui as variáveis microclimáticas. Nesse sentido, trabalhos (conglomerados na Tabela 5) utilizaram o Arduino® para avaliação e caracterização de ambientes residenciais, industriais e agrícolas (instalações vegetais e zootécnicas), incluindo como variáveis coletadas a temperatura de bulbo seco e a umidade relativa. Dentro das aplicações em produção animal, maior destaque é observado para os galpões de frango (Oliveira, 2015; Camargo et al., 2019; Santos et al., 2019).

Os modelos de placas Arduino® mais comuns utilizados nestes trabalhos foram o Mega 2560 e o Uno, que são dispositivos de fácil acesso no mercado e competentes para realizar as funções exigidas nestes estudos. Os sensores de temperatura de bulbo seco e umidade relativa mais relatados foram o DHT11 e DHT22, que coletam simultaneamente as duas variáveis. Os sensores, desenvolvidos pela Aosong Electronics Co. Ltd, ganham destaque pelo seu baixo custo e facilidade de uso, o que justifica o seu uso. Por fim, quanto à comunicação entre dispositivo e interface de leitura dos dados, há estudos que aplicam métodos

mais simples e limitados (como o USB) enquanto outros propõe métodos mais sofisticados (como o Wifi e o Bluetooth).

Tabela 5. Utilização do Arduino para coleta e processamento de dados microclimáticos (temperatura do ar e umidade relativa)

Autores	Arduino®	Sensores	Comunicação	Aplicação
Faris e Mahmood (2014)	Mega 2560 (ATmega2560)	DHT11	USB	Qualidade do ar do ambiente interno de estufas
Saptadi (2014)	Uno (ATmega328)	DHT11 e DHT22	USB	Comparação de sensores para coleta de Tbs e UR
David et al. (2015)	Ethernet Server (ATmega2560)	DHT11	Bluetooth e WiFi	Sistema automático para monitoramento do ar de residências
Fernandes (2015)	Mega 2560 (ATmega2560)	SHT15	WiFi	Qualidade do ar do ambiente interno de edifícios urbanos
Krishnamurthi et al. (2015)	Nano (ATmega328)	DHT11	USB	Sistema automático para monitoramento para estudos meteorológicos
Oliveira (2015)	Uno (ATmega328)	DHT22	WiFi	Controle de parâmetros ambientais de galpões para aves de corte
Mahale e Sonavane (2016)	Uno (ATmega328)	DHT11	WiFi	Controle de parâmetros ambientais de galpões para aves de corte
Wang e Chi (2016)	Uno (ATmega328)	DHT11	WiFi	Avaliação efeito do distanciamento na leitura dos dados
Rehman et al. (2017)	Mega 2560 (ATmega2560)	LM35 (Tbs) e DHT22	GSM/GPRS	Sistema automático para monitoramento da irrigação de plantas
Umea e Raja (2017)	Uno (ATmega328)	MLX90614 (Tbs) e DHT11	WiFi	Conforto térmico para vacas alojadas em ambiente fechado
Borges et al. (2018)	Não especificado	DHT22	USB	Conforto térmico para suínos
Oliveira Junior et al. (2018)	Mega 2560 (ATmega2560)	DHT22	Bluetooth	Conforto térmico para humanos, suínos, frangos de corte e bovinos
Camargo et al. (2019)	Não especificado	DHT22	USB	Sistema automático para avaliação da distribuição espacial de temperatura em galpões de frangos de corte
Tomé et al. (2019)	Uno (ATmega328)	DHT11	USB	Sistema automático para monitoramento de silos para grãos
Santos et al. (2019)	Nano (ATmega328)	DHT22	WiFi	Controle de parâmetros ambientais de galpões para aves de corte

Já considerando as tecnologias para software, a determinação do estresse térmico dos animais, embora seja uma área pouco explorada em relação a outros gargalos zootécnicos, já emprega interfaces computacionais para leitura e gestão de seus dados. Teles Junior et al. (2018), por exemplo, desenvolveram um software, *TCAP* (“Thermal Comfort in Animal Production”), para a obtenção do conforto térmico de aves de postura e corte, suínos, bovinos, codornas e ovelhas. O programa, desenvolvido em linguagem #C, recebe valores de T e UR fornecidos pelo usuário, calcula a temperatura de globo negro estimada e o ITGU, obtendo a situação de conforto térmico conforme parâmetros de ITGU encontrados na literatura para cada espécie. Já outros sistemas incorporam as variáveis climáticas dentro de um software com outras variantes zootécnicas, o que é o caso do *SisTúnel*, que utiliza do ITU e o Índice Térmico Ambiental de Produtividade para frango de corte (IAPfc) em galpões climatizados (Carvalho, 2006).

Em outra vertente, diversos softwares projetados para computadores pessoais estão migrando para os dispositivos portáteis – smartphones e tablets. Os aplicativos, ou app’s, ganham destaque ao permitir a sua instalação e execução em diversos dispositivos mobile, obtendo como principais vantagens, de acordo com Shin et al. (2012) e Liu et al. (2014): melhor utilização e adaptação de recursos gráficos para uso personalizado, disponibilidade de suporte para trabalho offline, permissão para utilizar ferramentas próprias do celular (GPS, câmera fotográfica, lista de contatos, entre outros) e menor custo de acesso (o tráfego de dados é menor).

Aplicativos mobile para a avaliação do estresse térmico estão disponíveis na Google Store (Tabela 6), a maior plataforma para venda/aquisição de aplicativos móveis executáveis no sistema operacional Android (compatível em todos os aparelhos smartphones, exceto Apple).

Tabela 6. Aplicativos móveis para diagnóstico do conforto térmico

Aplicativo	Última versão /atualização*	Aplicação	Fonte de dados	Índice de conforto	de
Heat Index App	3.3 / 2016	- Humanos	- Próprio usuário	- IC	
ConforCalc	1.5 / 2017	- Aves de corte	- Próprio usuário	- ITGU	
Orvalho	2.6 / 2018	- Humanos - Bovinos - Suínos - Aves	- Sensores em Arduino - Próprio usuário	- ITU - ITGU - ITE (somente aves)	
ThermoTool	3.3 / 2019	- Bovinos - Suínos - Aves	- Automático (estações meteorológicas próximas)	- ITU	

* Ordenados por ordem da última atualização (Fonte: GOOGLE PLAY, 2019)

O *Heat Index App*, desenvolvido pela SmartLife Digital em 2015, foi um dos primeiros produtos lançados no mercado do gênero, com enfoque para conforto térmico humano. O app funciona como uma calculadora, onde o usuário insere manualmente a temperatura ambiente e a umidade relativa, retornando a situação de conforto baseado no Índice de Calor (IC).

Já para frangos de corte, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) Suínos e Aves lançou em 2016 o *ConforCalc* (Dalmédico et al., 2016). Assim como o Heat Stress, o usuário insere as variáveis de entrada (temperatura de bulbo seco, umidade relativa e idade das aves) manualmente, e o app retorna a classificação de conforto utilizando o ITGU.

Aplicativos mais sofisticados passaram a utilizar ferramentas que automatizaram a inserção de dados, feita manualmente nos exemplos anteriores. O app *Orvalho*, lançado em 2016, é oferecido como um software utilizável para aves, suínos, bovinos e humanos, considerando como equações de trabalho o ITU, o ITGU e o Índice de Temperatura Específica (ITE). Como fonte de dados, foi proposto um dispositivo hardware com sensores de temperatura de bulbo seco, umidade relativa e temperatura de globo negro. A arquitetura do software permitiu o envio dos dados por Bluetooth diretamente para o aplicativo móvel (Oliveira Junior et al., 2018).

Já de origem francesa, a CCPA lançou em 2015 o *Thermotool*, que difere do app *Orvalho* ao utilizar como fonte de dados as estações meteorológicas mais próximas de acordo com a localização do usuário. O dispositivo, que opera para

bovinos, suínos e aves, utiliza o ITU como índice de conforto e permite a observação da situação de conforto até 5 dias subsequentes à data da leitura, incorporando dados de previsão do tempo.

Embora de grande caráter inovador, vale ressaltar que nenhum aplicativo mobile destinado para o diagnóstico do estresse térmico, seja em pesquisas ou enquanto produtos comerciais, se utiliza de métricas para sua avaliação, seja sob o ponto de vista técnico ou relacionado à sua usabilidade e praticidade.

Referências

- Abreu, V.M.N., Abreu, P.G., 2011. Os desafios da ambiência sobre os sistemas de aves no Brasil. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40, 1-14.
- AHDB, 2018. Calf management. Disponível em: < https://media.ahdb.org.uk/media/Default/Imported%20Publication%20Docs/CalfManagement_180619_WEB.pdf > Ultimo acesso em: 01 de nov. de 2019.
- Albright, L. D. Environment control for animals and plants. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers Michigan, 1990. 453p. ASAE Textbook, 4.
- Almeida Neto, L.A., Pandorfi, H., Almeida, G.L., Guiselini, C., 2014. Climatização na pré-ordenha de vacas Girolando no inverno do semiárido. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi*, 18(10), 1072–1078. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18n10p1072-1078>.
- Almeida, G.L., Pandorfi, H., Guiselini, C., Henrique, H.M., Almeida, G. A., 2011. Uso do sistema de resfriamento adiabático evaporativo no conforto térmico de vacas da raça girolando. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi*, 15(7), 754-760. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662011000700015>
- Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., Moraes, G., Leonardo, J., Sparovek, G., 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6), 711-728.
- Andrade, R.R., 2017. Determinação da faixa de conforto térmico para galinhas poedeiras na fase inicial de criação. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, 77f.
- ASHRAE, 1993. ASHRAE handbook—fundamentals.
- ASHRAE, 2005. ASHRAE handbook—fundamentals.

- Azevêdo, D.M.M.R., Alves, A.A., 2009. Bioclimatologia aplicada à produção de bovinos leiteiros nos trópicos. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 83p.
- Azizpour, F., Moghimi, S., Salleh, E., Mat, S., Lim, C.H., Sopian, K., 2013. Thermal comfort assessment of large-scale hospitals in tropical climates: A case study of University Kebangsaan Malaysia Medical Centre (UKMMC). *Energy and Buildings*, 64, 317-322. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.05.033>
- Baêta, F.C., 1985. Responses of lactating dairy cows to the combined effects of temperature, humidity and wind velocity in the warm season. Thesis (Ph.D.) - University of Missouri, Columbia, 218f.
- Baêta, F.C., Souza, C.F., 1997. *Ambiência em edificações rurais – conforto animal*, Viçosa, MG: UFV, 246p.
- Baêta, F.C.; Souza, C.F., 2010. *Ambiência em edificações rurais – conforto animal*. Universidade Federal de Viçosa.
- Barbosa Filho, J.A.D., Vieira, F.M.C., Garcia, D.B., Silva, M.A.N., Silva, I.J.O., 2007. Mudanças e uso das tabelas de entalpia. Available at: <<http://nupea.esalq.usp.br>>. Accessed on: Aug. 08, 2019.
- Barbosa, O.R.; Silva, R.G, 1995. Índice de conforto térmico para ovinos. *Boletim de Indústria Animal*, 52(1), 29-35.
- Barnabé, J., Pandorfi, H., Almeida, G.L., Guiselini, C., Jacob, A.L., 2015. Conforto térmico e desempenho de bezerras Girolando alojadas em abrigos individuais com diferentes coberturas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi*, 19(5), 481–488. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n5p481-488>
- Bellinger, G., Castro, D., Mills, A., 2004. Data, information, knowledge, and wisdom. Disponível em: <<https://homepages.dcc.ufmg.br/~amendes/SistemasInformacaoTP/TextosBasicos/Data-Information-Knowledge.pdf>>. Último acesso em: 01 de nov. de 2019.
- Beltrán-Prieto, J.C., Beltrán-Prieto, L.A., Nguyen, L.H.B.S., 2015. Estimation of psychrometric parameters of vapor water mixtures in air. *Computer Applications in Engineering Education*, 24, 39-43. <https://doi.org/10.1002/cae.21670>
- Bertocchi, L., Vitali, A., Lacetera, N., Nardone, A., Varisco, G., Bernabucci, U., 2014. Seasonal variations in the composition of Holstein cow's milk and temperature–humidity index relationship. *Animal*, 8(4), 667-674. <https://doi.org/10.1017/S1751731114000032>

- Black, J.L., Mullan, B.P., Lorsch, M.L., Giles, L.R., 1993. Lactation in the sow during heat stress. *Livestock Production Science*, 35, 153-170.
- Bloemhof, S., Mathur, P.K.; Knol, E.F.; Van Der Waaij, E.H., 2013. Effect of daily environmental temperature on farrowing rate and total born in dam line sows. *Journal of animal science*, 91(6), 2667-2679. <https://doi.org/10.2527/jas.2012-5902>
- Borges, P.H.M., Mendoza, Z.M.D.S.H., Morais, P.H.M., Santos, R.L., 2018. Sistema Automatizado de Baixo Custo para Produtores Rurais: controle e monitoramento do ambiente térmico na suinocultura. *Revista Eletrônica Competências Digitais para Agricultura Familiar*, 4(2), 177-199.
- Bridi, A.M., 2010. Efeitos do ambiente tropical sobre a produção animal. Disponível em:
<http://www.uel.br/pessoal/ambridi/Bioclimatologia_arquivos/EfeitosdoAmbienteTropicalsobreaProducaoAnimal.pdf> Ultimo acesso em: 01 de nov. de 2019.
- Britto, J.F.B, 2010. Considerações sobre psicrometria. *Revista SBCCv*. 45, 35-41.
- Brown-Brandl, T.M., Nienaber, J.A., Eigenberg, R.A., Hahn, G.L., Freetly, H., 2003. Thermoregulatory responses of feeder cattle. *Journal of Thermal Biology*, 28(2), 149-157. [https://doi.org/10.1016/S0306-4565\(02\)00052-9](https://doi.org/10.1016/S0306-4565(02)00052-9)
- Buffington, D.E.; Collazzo-Arocho, A.; Canton, G.H., 1981. Black globe-humidity index (ITGU) as confort equation for dairy cows. *Transactions of ASAE*, 24(3), 711-14.
- Camargo, J.R., Silva, I.J.O., Nazareno, A.C., Vieira, F., Castro, A.C., Dias, R.A., 2015. Qualidade de pintos em função do microclima, tempo de espera e idade de matrizes. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 19(11), 1079–1085. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n11p1079-1085>
- Camargo, T.F., Silva, R.L., Higa, M., Coutinho, M.R., Oliveira, J.C., Conceição, W.A.D.S., 2019. Monitoramento do conforto térmico em aviários mediante sistemas de aquisição de dados em tempo real. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 23(9), 694-701. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n9p694-701>
- Camelo, L.C.L., Lana, G.R.Q., Santos, M.J.B., Camelo, Y.A.R.P., Marinho, A.L., Rabello, C.B.V., 2015. Inclusão de farelo de goiaba na dieta de codornas europeias. *Ciência Animal Brasileira*, 16(3), 343-349.

- Cândido, M.G.L, Tinoco, I.F.F., Pinto, F.A.C., Santos, N.T., Roberti, R.P., 2016. Determination of thermal comfort zone for early-stage broilers. *Engenharia Agrícola*, 36(5), 760-767.
- Carvalho, V.F., 2006. Modelagem e zoneamento do ambiente térmico para avaliar o desempenho de frangos de corte criados em galpões climatizados. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 77f.
- Cassuce, D.C., 2011. Determinação das faixas de conforto térmico para frangos de corte de diferentes idades criados no Brasil. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, 103f.
- Change, Intergovernmental Panel On Climate. Climate Change 2007: the physical science basis: summary for policymakers. Geneva: IPCC, 2007.
- Cobb., 2009. Manual de Manejo de Frangos de Corte COBB. Disponível em: < <https://wp.ufpel.edu.br/avicultura/files/2012/04/Cobb-Manual-Frango-Corte-BR.pdf>> Ultimo acesso em 01 de nov. 2019.
- Collier, R.J.; Gebremedhin, K.G, 2014. Thermal biology of domestic animals. *Annual Review of Animal Biosciences*, 3(1), 513-532. <https://doi.org/10.1146/annurev-animal-022114-110659>
- Conceição, M.N., 2008. Avaliação da influência do sombreamento artificial no desenvolvimento de novilhas em pastagens. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 137f.
- Costa, E.M.S.; Dourado, L.R.B.; Merval, R.R, 2012. Medidas para avaliar o conforto térmico em aves. *Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia*, 6, 1450-1454.
- Curtis, S.E, 1983. Environmental management in animal agriculture. Ames: Iowa State University Press, 650p.
- D'Ausilio, A., 2012. Arduino: A low-cost multipurpose lab equipment. *Behavior Research Methods*, 44, 305-313. <http://dx.doi.org/10.3758/s13428-011-0163-z>
- Dal Piva, E., Moscati, M.C.D.L., Gan, M.A., 2008. Papel dos fluxos de calor latente e sensível em superfície associado a um caso de ciclogênese na costa leste da América do Sul. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 23(4), 450-476. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-77862008000400006>

- Dalcin, V.C., 2013. Parâmetros fisiológicos em bovinos leiteiros submetidos ao estresse térmico. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 49f.
- Dalmedico, G., Abreu, P. G., Coldebella, A., Santos Filho, J. I., 2016. Conforcalc-manual do usuário. Embrapa Suínos e Aves-Fôlder/Folheto/Cartilha (INFOTECA-E).
- Dalólio, F.S., Moreira, J., Coelho, D.J.R., Souza, F.C., 2016. Caracterização bioclimática de um galpão experimental de criação de frangos de corte na região de Diamantina-MG. *Revista Engenharia Na Agricultura*, 24(1), 22-31.
- Damasceno, F.A., Yanagi Junior, T., Lima, R.R.D., Gomes, R.C.C., Moraes, S.R.P.D., 2010. Avaliação do bem-estar de frangos de corte em dois galpões comerciais climatizados. *Ciênc. agrotec.,(Impr.)*, 34(4), 1031-1038. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542010000400033>
- Dantas, M.R.T., Souza Junior, J.B.F., Domingos, H.G.T., Torquato, J.L., Sá Filho, G.F., Macedo Costa, L.L., 2012. Termorregulação de bovinos em ambiente tropical: uma abordagem com ênfase nas respostas fisiológicas. *PUBVET*, 6, Art-1301. <https://doi.org/10.22256/pubvet.v16n7.1306>
- David, N., Chima, A., Ugochukwu, A., Obinna, E., 2015. Design of a home automation system using arduino. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 6(6), 795-801. <https://doi.org/10.20895/infotel.v6i2.73>
- Dikmen, S., Hansen, P.J., 2009. Is the temperature-humidity index the best indicator of heat stress in lactating dairy cows in a subtropical environment? *Journal of Dairy Science*, 92(1), 109–116. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1370>.
- Duan, Y., Shao, L., Hu, G., Zhou, Z., Zou, Q., Lin, Z., 2017. Specifying architecture of knowledge graph with data graph, information graph, knowledge graph and wisdom graph. In: 2017 IEEE 15th International Conference on Software Engineering Research, Management and Applications (SERA). IEEE, 2017. p. 327-332.
- Esmay, M.L., 1979. Principles of animal environment. *Environmental Engineering in Agriculture and Food Series*. The AVI Publishing Company, Inc. 325 p.
- Faris, D.M., Mahmood, D.M.F.M.B., 2014. Data acquisition of greenhouse using Arduino. *Journal of University of Babylon*, 22(7), 1908-1916.
- Fernandes, M.F.M.V., 2015. Desenvolvimento de um Sistema Remoto de Monitorização e Análise de Qualidade do Ambiente Interior em Edifícios.

- Dissertação de Mestrado. Universidade de Lisboa - Faculdade de Ciências e Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia, 132.
- Ferrari, S., Costa, A., Guarino, M., 2013. Heat stress assessment by swine related vocalizations. *Livestock science*, 151(1), 29-34.
- Ferraz, P.F.P., Yanagi Junior, T., Melo, L.F.L.D., Castro, J.D.O., Cecchin, D., 2018. Spatial and temporal distribution of enthalpy in aviary heated by industrial furnace. *Revista Ceres*, 65(4), 346-355. <http://dx.doi.org/10.1590/0034-737x201865040007>
- Ferreira, R.A., 2005. Maior produção com melhor ambiente para aves, suínos e bovinos. Viçosa: Aprenda Fácil, 371p.
- Fiebrich, C.A., Grimsley, D.L., McPherson, R.A., Kesler, K.A., Essenberg, G.R., 2006. The value of routine site visits in managing and maintaining quality data from the Oklahoma Mesonet. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 23(3), 406-416. <https://doi.org/10.1175/JTECH1852.1>
- Furlan, R.A., 2001. Avaliação da nebulização e abertura de cortinas na redução da temperatura do ar em ambiente protegido. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 146f.
- Garcia, P.R., 2017. Galpão freestall com sistema de resfriamento evaporativo e ventilação cruzada: desempenho térmico, zootécnico e o nível de bem estar animal. Tese (Doutorado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo, Piracicaba. 149f.
- Gonçalves, L.C., Borges, I., Ferreira, P. D. S., 2009. Alimentação de gado de leite. Belo Horizonte: FEPMVZ -Editora, 412p.
- Google Play, 2019. Google Play Apps. Disponível em: <<https://play.google.com/store>> Acesso em: 04 fev. 2019.
- Hahn, G.L., 1985. Management and Housing of farm animals in hot environment. In: Yousef, M.K. *Stress Physiology in livestock*, cap. 2, 151-174.
- Hannas, M.I., 1999. Aspectos fisiológicos e a produção de suínos em clima quente. In: *Ambiência e Qualidade na Produção Industrial de Suínos*, Piracicaba. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 01-33.
- Haugen, A.J.; Moore, N.T., 2014. A model for including Arduino microcontroller programming in the introductory physics lab. *ArXiv*, 11.

- Hazen, B.T., Boone, C.A., Ezell, J.D., Jones-Farmer, L.A., 2014. Data quality for data science, predictive analytics, and big data in supply chain management: An introduction to the problem and suggestions for research and applications. *International Journal of Production Economics*, 154, 72-80. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.04.018>
- Henry, B., Charmley, E., Eckard, R., Gaughan, J.B., Hegarty, R., 2012. Livestock production in a changing climate: adaptation and mitigation research in Australia. *Crop and Pasture Science*, 63(3), 191-202.
- Herbut, P., Angrecka, S., Walczak, J., 2018. Environmental parameters to assessing of heat stress in dairy cattle - a review. *International journal of biometeorology*, 62(12), 2089-2097. <https://doi.org/10.1007/s00484-018-1629-9>
- Holik, V., 2009. Management of laying hens to minimize heat stress. *Lohmann Information*, 44(1), 16-29.
- Huber, J.T., 1990. Alimentação de vacas de alta produção sob condições de estresse térmico. In: ESALQ (ed.) *Bovinocultura Leiteira*, 33-48.
- Hy-Line, 2016. Guia de Manejo: W-36 poedeiras comerciais. Disponível em: <<http://fluig.hyline.com.br:8080/volume/stream/Rmx1aWc=/P3Q9MSZ2b2w9RGVmYXVsdCZpZD02NjcwJnZlcj0xMDAwJmZpbGU9SHktTGluZStXLTm2LnBkZiZjcmM9NjkwNTYyMTYwJnNpemU9My4xMTEyODkmdUlKPTMmZINJZD0xJnVTSWQ9MSZkPWZhbnHNIJnRrbj0mcHVibGljVXJsPXRydWU=.pdf>>, Último acesso em: 05 de ago de 2019.
- Hy-Line, 2018. Guia de Manejo: Hy-Line Brown poedeiras comerciais. <<http://fluig.hyline.com.br:8080/volume/stream/Rmx1aWc=/P3Q9MSZ2b2w9RGVmYXVsdCZpZD02NjY5JnZlcj0xMDAwJmZpbGU9SHktTGluZStCcm93bi5wZGYmY3JjPTE0NDMzMzAzOTMmc2l6ZT00LjkzNDUyJnVJZD0zJmZTSWQ9MSZ1U0lkPTEmZD1mYWxzZSZ0a249JnB1YmxpY1VyYD10cnVl.pdf>>, Último acesso em: 05 de ago de 2019.
- Igono M.O., Bjotvedt G., Sanford-Crane H.T., 1992. Environmental profile and critical temperature effects on milk production of Holstein cows in desert climate. *International Journal of Biometeorology*, 36, 77-87.
- Ilapakurti, A.; Vuppapapati, C., 2015. Building an IoT framework for connected dairy. In: *Big Data Computing Service and Applications (BigDataService)*, 2015 IEEE First International Conference on. IEEE, 275-285.

- Johnson, H.D., 1987. Bioclimates and livestock: Bioclimatology and the adaptation of livestock. Elsevier Science Company Inc: New York.
- Krishnamurthi, K., Thapa, S., Kothari, L., Prakash, A., 2015. Arduino based weather monitoring system. International Journal of Engineering Research and General Science, 3(2), 452-458.
- Lacetera, N., 2015. Season and temperature humidity index related changes of productive and health parameters in dairy cows and pigs. FACCE MACSUR Reports, 5, 5-33.
- Lara, L., Rostagno, M., 2013. Impact of heat stress on poultry production. Animals, 3(2), 356-369. <https://doi.org/10.3390/ani3020356>
- Le Dividich, J.L., 1991. Effect of environmental temperature on the performance of intensively reared growing pigs. Selezione Veterinaria, 32, 191-207.
- Leal, P.M.; Nääs I.A., 1992. Ambiência animal. In: Cortez, L.A.B.; Magalhães, P.S.G. (Org.). Introdução à engenharia agrícola. Campinas, SP : Unicamp, 121-135.
- Leeson, S., Summers, J.D., 1997. Commercial poultry nutrition. Guelph: University Books, 303p.
- Liew, A., 2007. Understanding data, information, knowledge and their inter-relationships. Journal of knowledge management practice, 8(2), 1-16.
- Lima, K.A.O., Moura, D.J.; Naas, I.A., Perissinotto, M., 2007. Estudo da influência das ondas de calor sobre a produção de leite no Estado de São Paulo. Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas, 1, 70-81. <http://dx.doi.org/10.18011/bioeng2007v1n1p70-81>
- Liu, C.Z., Au, Y.A., Choi, H.S., 2014. Effects of freemium strategy in the mobile app market: An empirical study of google play. Journal of Management Information Systems, 31(3), 326-354. <https://doi.org/10.1080/07421222.2014.995564>
- Lucas, E.M.; Cruz, V.F., 1997. Efeito do clima do Alentejo no microclima das instalações para suínos. Revista Portuguesa de Zootecnia, 4(1), 37-52.
- Lucy, M.C., Safranski, T.J., 2017. Heat stress in pregnant sows: thermal responses and subsequent performance of sows and their offspring. Molecular reproduction and development, 84(9), 946-956. <https://doi.org/10.1002/mrd.22844>
- Macari, M.; Furlan, R.L., 2001. Ambiência na produção de aves de corte. In: Silva, I.J.O. (Ed.). Ambiência na produção de aves em clima tropical. Piracicaba: FUNEP, 1, 31-87.

- Mahale, R.B., Sonavane, S.S., 2016. Smart Poultry Farm Monitoring Using IOT and Wireless Sensor Networks. *International Journal of Advanced Research in Computer Science*, 7(3), 187-190. <https://doi.org/10.26483/ijarcs.v7i3.2665>
- Martello, L.S., Savastano Junior, H., Silva, S.L., Titto, E. A. L., 2004. Respostas fisiológicas e produtivas de vacas holandesas em lactação submetidas a diferentes ambientes. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 33, 181-191. <http://dx.doi.org/10.1590/S1519-99402013000300016>
- Mathur, P.K., Horst, P., 1994. Genotype by environment interactions in laying hens based on relationship between breeding values of sires in temperate and tropical environments. *Poultry Science*, 73(8), 1777-1784. <https://doi.org/10.3382/ps.0731777>
- Medeiros, C.M.; Baêta, F.D.C.; Oliveira, R.F.M.; Tinôco, I.F.F.; Albino, L.F., Cecon, P.R., 2005. Índice térmico ambiental de produtividade para frangos de corte. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 9(4), 660-665. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662005000400033>
- Menegali, I., Tinôco, I.F.F., Baêta, F.C., Cecon, P.R., Guimarães, M.C.C, Cordeiro, M.B., 2009. Ambiente térmico e concentração de gases em instalações para frangos de corte no período de aquecimento. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 13, 984-990.
- Miyada, V.S., 1996. Fatores que influenciam as exigências nutricionais dos suínos. In: *Simpósio Internacional Sobre Exigências Nutricionais De Aves E Suínos*, Viçosa: Rostagno, H.S., 435-446.
- Morignat, E., Gay, E., Vinard, J.L., Sala, C., Calavas, D., Hénau, V., 2018. Impact of heat and cold waves on female cattle mortality beyond the effect of extreme temperatures. *Journal of Thermal Biology*, 78, 374-380. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2018.11.001>
- Mostaço, G.M. Determinação da temperatura retal e frequência respiratória de suínos em fase de creche por meio da temperatura da superfície corporal em câmara climática. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agrícola), Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 112f.
- Moura, D.J., 1999. Ventilação na suinocultura. In: Silva, I.J.O (Ed.) *Ambiência e qualidade na produção industrial de suínos*. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 149-179.

- Nääs, I.A., 1989. Princípios de conforto térmico na produção animal. São Paulo, Icone Ed., 183p.
- Nääs, I.A., 1998. Tipologia de instalações em clima quente. Simpósio Brasileiro de Ambiência na Produção de Leite, 1, 146-155.
- Nazareno, A.C., Pandorfi, H., Almeida, G.L., Giongo, P.R., Pedrosa, E. M., Guiselini, C., 2009. Avaliação do conforto térmico e desempenho de frangos de corte sob regime de criação diferenciado. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 13(6), 802-808. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662009000600020>
- Nazareno, A.C., Silva, I.J.O., Nunes, M.L.A., Castro, A.C., Miranda, K.O.S., Trabachini, A., 2012. Caracterização bioclimática de sistemas ao ar livre e confinado para a criação de matrizes suínas gestantes. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 16(3), 314–319.
- Nazareno, A.C., Silva, I.J.O., Vieira, F., Camargo, J.R., Medeiros, S.R., 2013. Caracterização do microclima dos diferentes layouts de caixas no transporte de ovos férteis. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi, 17(3), 327–332. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662013000300012>
- Nepomuceno, G.L., Cecchin, D., Campos, A.T., Amaral, P.I.S., Freitas, L.C.S.R., Sousa, F.A., Ferraz, P.F.P., 2018. Ambiente Térmico Em Diferentes Tipologias De Creches Para Leitões. Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas, 12(4), 394-400. <http://dx.doi.org/10.18011/bioeng2018v12n4p394-400>
- Nienaber, J.A., Hahn, G.L., 2007. Livestock production system management responses to thermal challenges. International Journal of Biometeorology, 52(2), 149-157. <https://doi.org/10.1007/s00484-007-0103-x>
- Nienaber, J.A., Hahn, G.L., Yen, J.T., 1987. Thermal environment effects on growing-finishing swine, Part I-Growth, feed intake and heat production. Transaction of the ASAE, 30(6), 1772-1775.
- Noblet, J., Dourmad, J.Y., Dividich, J., Dubois, S., 1989. Effect of ambient temperature and addition of straw or alfafa in the diet on energy metabolism in pregnant sows. Livestock Production Science, 21, 309-324.
- NRC, 1981. Nutritional energetics of domestic animals and glossary of energy terms. Washigton: National Academy, 54p.

- Nunes, M.L., Miranda, K.O.D.S., Faria, J.M., Vieira, A., Arcaro Júnior, I., 2014. Physiological evaluation of heat stress in gestating sows under different housing systems in bedding and concrete floor. *Engenharia Agrícola*, 34(1), 1-7. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162014000100001>
- Oliveira Junior, A.J., 2016. Dispositivo móvel para análise de conforto térmico e ambiência. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Universidade Estadual Paulista - Faculdade de Ciências Agrônômicas, 92f.
- Oliveira Júnior, A.J., Souza, S.R.L., Cruz, V.F., Vicentin, T.A., Glavina, A.S.G., 2018. Development of an android APP to calculate thermal comfort indexes on animals and people. *Computers and electronics in agriculture*, 151, 175-184. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.05.014>
- Oliveira, D.L., Do Nascimento, J.W., Camerini, N.L., Silva, R.C., Furtado, D.A., Araujo, T.G., 2014. Desempenho e qualidade de ovos de galinhas poedeiras criadas em gaiolas enriquecidas e ambiente controlado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi*, 18(11), 1186-1191. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18n11p1186-1191>
- Oliveira, M.E., 2015. Desenvolvimento de sistema automatizado de monitoramento de ambientes de produção animal, utilizando uma rede de sensores sem fio. Dissertação (Mestrado) Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 56f.
- Padilla, L., Matsui, T., Kamiya, Y., Kamiya, M., Tanaka, M., Yano, H., 2006. Heat stress decreases plasma vitamin C concentration in lactating cows. *Livestock Science*, 101, 300-304. <https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2005.12.002>
- Pandorfi, H., Silva, I.J.O., Moura, D.J., Sevegnani, K.B., 2004. Análise de imagem aplicada ao estudo do comportamento de leitões em abrigo escamoteador. *Engenharia Agrícola*, 24(2), 274-284. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162004000200005>
- Pandorfi, H., Silva, I.J.O., Piedade, S.M., 2008. Conforto térmico para matrizes suínas em fase de gestação, alojadas em baias individuais e coletivas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 12(3), 326-332. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662008000300015>

- Perdomo, C.C., 1995. Avaliação de sistemas de ventilação sobre o condicionamento ambiental e o desempenho de suínos na fase de maternidade. Tese (Doutorado em Zootecnia), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia. Porto Alegre. 239f.
- Perdomo, C.C., Kozen, E.A., Sobestiansky, J., Silva, A.P., Correa, N.L. Considerações sobre edificações para suínos., 1985. In: Curso de atualização sobre a produção de suínos, 4, Concórdia, SC. Anais... Concórdia: EMBRAPA Suínos e Aves.
- Pereira, C.C.J., 2005. Fundamentos de Bioclimatologia Aplicados à Produção Animal. 1.ed. Belo Horizonte: FEPMVZ, 195p.
- Pham, X., Stack, M., 2018. How data analytics is transforming agriculture. *Business Horizons*, 61(1), 125-133. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2017.09.011>
- Polsky, L., Von Keyserlingk, M.A., 2017. Invited review: Effects of heat stress on dairy cattle welfare. *Journal of dairy science*, 100(11), 8645-8657. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2017-12651>
- Queiroz, M.L.V., Barbosa Filho, J.A.D., Lima Sales, F.A., Lima, L.R., Duarte, L.M., 2017. Variabilidade espacial do ambiente em galpões de frango de corte com sistema de nebulização. *Revista Ciência Agronômica*, 48(4), 586-595.
- Queiroz, M.L.V., Barbosa Filho, J.A.D., Vieira, F.M.C., 2012. Guia prático para a utilização de tabelas de entalpia. Available at: <http://www.neambe.ufc.br/arquivos_download/Guia%20Pratico%20de%20Utilizacao%20das%20Tabelas.pdf>. Accessed on: Aug. 08, 2019
- Rehman, A.U., Asif, R.M., Tariq, R., Javed, A., 2017. GSM based solar automatic irrigation system using moisture, temperature and humidity sensors. In: 2017 International Conference on Engineering Technology and Technopreneurship (ICE2T). IEEE, 1-4.
- Renaudeau, D., Collin, A., Yahav, S., Babilio, V., Gourdine, J.L., Collier, R.J., 2012. Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. *Animal*, 6(5), 707-728. <https://doi.org/10.1017/s1751731111002448>
- Ribeiro, B.P.V.B., Lanferdini, E., Palencia, J.Y.P, Lemes, M.A.G., Abreu, M.L.T., Cantarelli, V.S., Ferreira, R.A., 2018. Heat negatively affects lactating swine: a meta-analysis. *Journal of Thermal Biology*, 74, 325-330. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2018.04.015>

- Ricci, G.D., Orsi, A.M., & Domingues, P.F., 2013. Estresse calórico e suas interferências no ciclo de produção de vacas de leite: revisão. *Veterinária e Zootecnia*, 20, 9-18.
- Riquena, R.D.S., Pereira, D.F., Vale, M.M.D., Salgado, D.D.A., 2019. Mortality prediction of laying hens due to heat waves. *Revista Ciência Agronômica*, 50(1), 18-26. <http://dx.doi.org/10.5935/1806-6690.20190003>
- Rodrigues, V.C., Silva, I.J.O., Vieira, F.M.C., Nascimento, S.T., 2011. A correct enthalpy relationship as thermal comfort index for livestock. *International Journal of Biometeorology*, 55, 455-459. <https://doi.org/10.1007/s00484-010-0344-y>
- Roefeldt, S., 1998. You can't afford to ignore heat stress. *Dairy manage*, 35(5), 6-12.
- Rojas-Downing, M.M., Nejadhashemi, A.P., Harrigan, T., Woznicki, S. A., 2017. Climate change and livestock: Impacts, adaptation, and mitigation. *Climate Risk Management*, 16, 145-163. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2017.02.001>
- Ross, J.W., Hale, B.J., Gabler, N.K., Rhoads, R.P., Keating, A.F., Baumgard, L.H., 2015. Physiological consequences of heat stress in pigs. *Animal Production Science*, 55(12), 1381-1390. <https://doi.org/10.1071/AN15267>
- Rutten, C.J., Velthuis, A.G.J., Steeneveld, W., Hogeveen, H., 2013. Invited review: sensors to support health management on dairy farms. *Journal of Dairy Science*, 96, 1928–1952. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-6107>
- Sanker, C., Lambertz, C., Gauly, M., 2013. Climatic effects in Central Europe on the frequency of medical treatments of dairy cows. *Animal*, 7(2), 316-321. <https://doi.org/10.1017/S1751731112001668>
- Santos, R.C.; Batillani, M., Favarim, A.P.C., Cesca, R.S., Monteiro, G.S., Paula, M.O., 2019. Uso de transdutores em dispositivo para monitoramento e controle ambiental. In: Castro, J.O.; Moura, G.B.; Andrade E.T.; Lacerda, J.A.; Ferraz, P.F.P.F.; Yanagi Júnior, T. (Org.). *Anais II SIAPAS e VI SIMCRA*, 1ed. Lavras, 1, 505-514.
- Saptadi, A.H., 2014. Perbandingan Akurasi Pengukuran Suhu dan Kelembaban Antara Sensor DHT11 dan DHT22. *Jurnal Infotel*, 6(2), 49-56.
- Sevegnani, K.B., Fernandes, D.P., Silva, S.H., 2016. Evaluation of thermoregulatory capacity of dairy buffaloes using infrared thermography. *Engenharia Agrícola*, 36(1), 1-12. <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n1p1-12/2016>

- Shin, C., Hong, J., Dey, A. K., 2012. Understanding and prediction of mobile application usage for smart phones. In: Proceedings of the 2012 ACM Conference on Ubiquitous Computing. ACM, 173-182.
- Silva J. 2014. Introdução à Tecnologia de Refrigeração e Climatização, 1ª Edição, Ed. Artliber. São Paulo, Brasil.
- Silva, I.J.O., 1999. Qualidade do ambiente e instalações na produção industrial de suínos. In: Seminário Internacional de Suinocultura, 4., São Paulo. Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, 108-325.
- Silva, I.J.O., Sevegnani, K.B., 2001. Ambiência na produção de aves de postura. In: Silva, I. J. O. Ambiência na produção de aves em clima tropical. Piracicaba: FUNEP, 150-214.
- Silva, K.C., Campos, A.T., Junior, T.Y., Cecchin, D., Lourençoni, D., Ferreira, J.C., 2015. Reaproveitamento de resíduos de embalagens Tetra Pak® em coberturas. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi, 19(1), 58-63. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n1p58-63>
- Silva, R.C., Nascimento, J.W.B., Oliveira, D.L., Camerini, N.L., Furtado, D.A., 2012. Força de ruptura da casca do ovo em função das temperaturas da água e do ambiente. Revista Educação Agrícola Superior, 27, 13-18. <http://dx.doi.org/10.12722/0101-756X.v27n01a02>
- Silva, R.G. Introdução a bioclimatologia animal. São Paulo, Nobel. 2000. 285 p.
- Silva-Miranda, K.O.D., Borges, G., Menegale, V.L.D.C., Silva, I.J.O., 2012. Efeito das condições ambientais no nível de ruído emitido por leitões. Engenharia Agrícola, 32(3), 435-445. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162012000300003>
- Sobestiansky, J., Perdomo, C.C., Oliveira, P.A.V., Oliveira, J.A., 1987. Efeito de diferentes sistemas de aquecimento no desempenho de leitões. Concórdia: Embrapa CNPSA, 3p. Comunicado Técnico 122.
- Souza, P., 2005. Avicultura e Clima Quente: Como administrar o bem-estar às aves? Revista Avicultura Industria, v. 1136, 1-6.
- Stowell, R.R., 2000. Heat Stress Relief and Supplemental Cooling. Proceedings of Dairy Housing and Equipment Systems, NRAES, Ithaca, New York, 175-185.
- St-Pierre, N.R., Cobanov, B., Schnitkey, G., 2003. Economic losses from heat stress by US livestock industries. Journal of dairy science, 86, E52-E77. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)74040-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)74040-5)

- Teeter, R.G., Belay, T., 1996. Broiler management during acute heat stress. *Animal Feed Science and Technology*, 58(1), 127-142.
- Teles Junior, C., Tinôco, I.F.F., Souza, C.F., Vivala, M.O., 2018. Computational program to evaluate thermal comfort in animal production facilities. In: 10th International Livestock Environment Symposium (ILES X). American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- Thom, E.C., 1959. The discomfort index. *Weatherwise*, 12, 57-59.
- Tinôco, I.F.F., 1998. Ambiente e instalações para a avicultura industrial. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 27, e Encontro Nacional de Técnicos, Pesquisadores e Educadores de Construções Rurais, 3, Poços de Caldas, Lavras: UFLA/SBEA, 1-86.
- Tinoco, I.F.F., 2001. Avicultura Industrial: Novos Conceitos de Materiais, Concepções e Técnicas Construtivas Disponíveis para Galpões Avícolas Brasileiros. *Rev. Bras. Cienc. Avic.*, 3(1), 01-26.
- Tinôco, I.F.F., 2004. A granja de frangos de corte. In: Mendes A.A., Nããs I.A., Macari, M. (Eds.) *Produção de frangos de corte*. Campinas. FACTA, 55-84.
- Tomé, T.C.H., Menezes, W.R., Silva, R.C., Coelho, N.O., Carneiro, E.F.S.; Lima, A.D.J., 2019. Sistema automatizado de controle e monitoramento da temperatura, umidade relativa do ar e nível de grãos em silos. In: Castro, J.O.; Moura, G.B.; Andrade E.T.; Lacerda, J.A.; Ferraz, P.F.P.F.; Yanagi Júnior, T. (Org.). *Anais II SIAPAS e VI SIMCRA*, 1ed. Lavras, 1, 156-164.
- Tonello, C.L., 2011. Validação do índice de conforto térmico e zoneamento bioclimático da bovinocultura de leite. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Estadual de Maringá. 140f.
- UBA, 2008. Protocolo de bem-estar para aves poedeiras. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Aniamal/Bemestaranimal/protocolo_de_bem_estar_para_aves_poedeiras_final_11_07_08.pdf> Último acesso em: 05 de ago de 2019.
- Umega, R., Raja, M. A., 2017. Design and implementation of livestock barn monitoring system. In: 2017 International Conference on Innovations in Green Energy and Healthcare Technologies (IGEHT). IEEE, 1-6.

- Vale, M.M.D., Moura, D.J. D., Nääs, I.D.A., Curi, T.M., Lima, K.A, 2016. Effect of a simulated heat wave in thermal and aerial environment broiler-rearing environment. *Engenharia Agrícola*, 36(2), 271-280, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n2p271-280/2016>
- Van Hertem, T., Rooijackers, L., Berckmans, D., Fernández, A.P., Norton, T., Vranken, E., 2017. Appropriate data visualisation is key to Precision Livestock Farming acceptance. *Computers and electronics in agriculture*, 138, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.04.003>
- Veit, H.P., Troutt, H.F., 1982. Monitoring air quality for livestock respiratory health. *Veterinary Medicine and Small Animal Clinician*, 77, 454-464.
- Vitali, A., Felici, A., Esposito, S., Bernabucci, U., Bertocchi, L., Maresca, C., Lacetera, N., 2015. The effect of heat waves on dairy cow mortality. *Journal of dairy science*, 98(7), 4572-4579. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9331>
- Wang, R.H., Liang, R.R., Lin, H., Zhu, L.X., Zhang, Y.M., Mao, Y.W., Luo, X., 2017. Effect of acute heat stress and slaughter processing on poultry meat quality and postmortem carbohydrate metabolism. *Poultry science*, 96(3), 738-746. <https://doi.org/10.3382/ps/pew329>
- Wang, Y., Chi, Z., 2016. System of wireless temperature and humidity monitoring based on Arduino Uno Platform. In: 2016 Sixth International Conference on Instrumentation & Measurement, Computer, Communication and Control (IMCCC). IEEE, 770-773.
- Werkheiser, I., 2018. Precision livestock farming and farmers' duties to livestock. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 31(2), 181-195. <https://doi.org/10.1007/s10806-018-9720-0>
- West, J.W., 2003. Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *Journal of dairy science*, 86(6), 2131-2144. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73803-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73803-X)
- WMO, 1989. Animal Health and Production at Extremes of Weather (Reports of the CAgM Working Groups on Weather and Animal Disease and Weather and Animal Health). Technical Note No. 191 (WMO-No. 685), Geneva.
- Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., Bogaardt, M. J., 2017. Big data in smart farming—a review. *Agricultural Systems*, 153, 69-80. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2017.01.023>

- Yassin, H., Velthuis, A.G.J., Boerjan, M., Van Riel, J., 2009. Field study on broilers' first-week mortality. Poultry science, 88(4), 798-804.
<https://doi.org/10.3382/ps.2008-00292>
- Yassin, H., Velthuis, A.G.J., Boerjan, M., Lourens, A., Oude Lansink, A.G.J.M., 2011. Standardized data in the broiler value chain. Poultry science, 90(2), 498-506.
<https://doi.org/10.3382/ps.2010-00820>
- Yousef, M.K., 1985. Thermoneutral Zone, in Stress Physiology in Livestock. Vol.1. Boca Raton: CRC Press, 67-73.

3. A PSICROMETRIA NO DIAGNÓSTICO DO CONFORTO TÉRMICO DOS ANIMAIS DE PRODUÇÃO: METODOLOGIA E ESTUDO DE CASO

Sergio Luís de Castro Júnior*², Iran José Oliveira da Silva

Núcleo de Pesquisa em Ambiência – NUPEA – Departamento de Engenharia de Biossistemas, Universidade de São Paulo – USP, Av. Pádua Dias, 11, 13418-900, Piracicaba, São Paulo, Brasil.*Autor correspondente: sergio.castro@usp.br

Resumo

O bem-estar animal e o desempenho zootécnico são comprometidos ao alojar-se animais em ambientes que os colocam à margem da sua zona de termoneutralidade. Entretanto, a identificação do estresse térmico, quando baseada nas propriedades do ar, sugere a utilização de índices desatualizados e genéricos. O objetivo deste trabalho foi desenvolver e validar uma metodologia para classificar e diagnosticar o estresse térmico dos animais de produção a partir das relações psicrométricas do ar. O modelo foi elaborado para aves de corte, suínos, bovinos de leite e aves de postura, categorizados nas diferentes fases de criação. Para cada fase, foi realizada a busca bibliográfica dos parâmetros psicrométricos do ar - temperatura de bulbo seco (Tbs) e umidade relativa (UR) - que satisfizessem as zonas críticas e ideais de termoneutralidade dos animais. Adicionando a pressão atmosférica local (Pa), os parâmetros foram utilizados para o cálculo da entalpia (h), resultando em cinco faixas de conforto. A partir disso, uma árvore de decisão foi elaborada, constituída de três atributos (Tbs, UR e h) e sete classes de diagnóstico, fundamentadas nos princípios psicrométricos do ar. A metodologia proposta foi utilizada em um estudo de caso, com um banco de dados extraído de um abrigo individual para bezerros. Para a avaliação da árvore de decisão, foram comparados dois algoritmos de indução, sendo que ambos apresentaram alta acurácia e propuseram modelos de árvore mais simples do que a desenvolvida teoricamente pela metodologia. Como conclusão, a metodologia proposta neste trabalho apresenta grande potencial para caracterizar o conforto térmico dos animais de forma prática, diagnosticando as causas de estresse e recomendando possíveis ações corretivas. O estudo de caso revelou que as árvores de decisão podem ser adaptadas e simplificadas para cada fase de criação.

Palavras-chave: Ambiência; Árvore de decisão; Entalpia específica do ar; Estresse térmico; Termoneutralidade

Abstract

Animal welfare and zootechnical performance are compromised by housing animals in environments that place them outside their thermoneutral zone. However, the identification of heat stress, when based on air properties, suggests the use of outdated and generic indexes. The objective of this work was to develop and validate a methodology to classify and diagnose the heat stress of livestock animals based on psychometric properties. The model was designed for poultry, swine, dairy cattle and laying birds, categorized by growing phases.

² Este capítulo está formatado para publicação na Revista Brasileira de Zootecnia, seguindo suas normas de formatação.

For each phase, a bibliographic research of the air psychometric parameters - dry bulb temperature (T_{bs}) and relative humidity (UR) - that met the critical and ideal thermoneutrality zones of the animals was performed. Adding the local atmospheric pressure (Pa), the parameters were used to calculate enthalpy (h), resulting in five comfort ranges. From this, a decision tree was elaborated, consisting of three attributes (T_{bs}, UR and h) and seven diagnostic classes, based on the psychometric principles. The proposed methodology was used in a case study, with a database extracted from an individual calf shelter. To evaluate the decision tree, two induction algorithms were compared, both of which presented high accuracy and proposed simpler tree models than the one developed theoretically for the methodology. In conclusion, the methodology proposed in this paper has great potential to characterize the thermal comfort of animals, diagnosing the causes of stress and recommending possible corrective actions. The case study has shown that decision trees can be adapted and simplified for each growing phase.

Keywords: Livestock environment; Decision tree; Specific air enthalpy; Heat stress; Thermoneutrality

3.1. Introdução

O estresse térmico se destaca por sua influência negativa no desempenho produtivo e no bem-estar dos animais de produção, uma vez que estes necessitam destinar recursos energéticos para manter a termorregulação (Polsky e Von Keyserlingk, 2017; He et al., 2019). Tal problemática torna-se crítica nos animais alojados em regiões de clima tropical, que representa a maior parte do território brasileiro. Dessa maneira, o sucesso da produção depende, dentre outros fatores, das propriedades físicas do ambiente construído, como a temperatura do ar, umidade relativa, radiação solar e velocidade do vento, que vão influenciar diretamente nas trocas térmicas secas e úmidas entre o animal e o meio (Aziz et al., 2016).

Ao longo do tempo, foram propostas diversas combinações das propriedades do ar, categorizando o estresse térmico a partir da obtenção de índices de conforto, a exemplo: Índice de Temperatura e Umidade (ITU), de Thom (1959); o Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade (ITGU), de Buffington (1981); e a Carga Térmica Radiante (CTR), proposta por Esmay (1979). Contudo, os índices de conforto possuem como principais limitações o seu desenvolvimento e parametrização em regiões norte-americanas e europeias, além de muitas vezes classificarem os animais sem distinção de espécies e fases de criação. Além disso, deve-se considerar que os índices propostos foram elaborados a partir de uma regressão associada à produção e genética da época.

Outra abordagem avaliativa que se fundamenta nas características físicas do ar é a das relações psicrométricas. Britto (2010) destaca que a psicrometria é a ciência que investiga as mudanças das propriedades do ar úmido. Como uma destas propriedades, a entalpia é

considerada o conteúdo energético (quantidade de calor total) presente em uma unidade de massa de ar seco, incorporando os conteúdos de calor latente e sensível. Com tais características, a entalpia vem sendo explorada como um indicativo da situação de conforto térmico para humanos (Chu e Jong, 2008; Hendari et al., 2016; Hendari et al., 2018) e animais de produção (Rodrigues et al., 2011; Sarnighausen, 2019).

Quando se discute a análise de dados, vários métodos surgem como possíveis soluções de tratamento dos mesmos. Criadas na década de 60, as árvores de decisão se consolidaram como um dos modelos estatísticos mais eficazes para a mineração de dados, auxiliando na determinação de prioridades e tomadas de decisão a partir da manipulação de grandes conjuntos de dados (Song e Lu, 2015). Estudos utilizaram as árvores de decisão no indicativo do conforto térmico dos animais (Perissinotto e Moura, 2007; Vale et al., 2008, Nascimento et al., 2011), mas não é reportado na literatura a sua aplicação no diagnóstico das causas e possíveis soluções para mitigar ou diminuir o estresse térmico dos animais.

O objetivo deste trabalho foi elaborar e validar uma metodologia avaliativa para o diagnóstico do estresse térmico dos animais de produção, em diferentes fases de criação, utilizando como conceitos base as relações psicrométricas do ar e as árvores de decisão.

3.2. Material e métodos

Tratando-se de uma proposta metodológica, este trabalho seguiu uma sequência em série de sete elementos dependentes (Figura 6), cujos resultados individuais foram utilizados como dados de entrada nas etapas subsequentes. O objetivo final – último elemento do sequenciamento metodológico - foi obter o diagnóstico do conforto térmico dos animais.

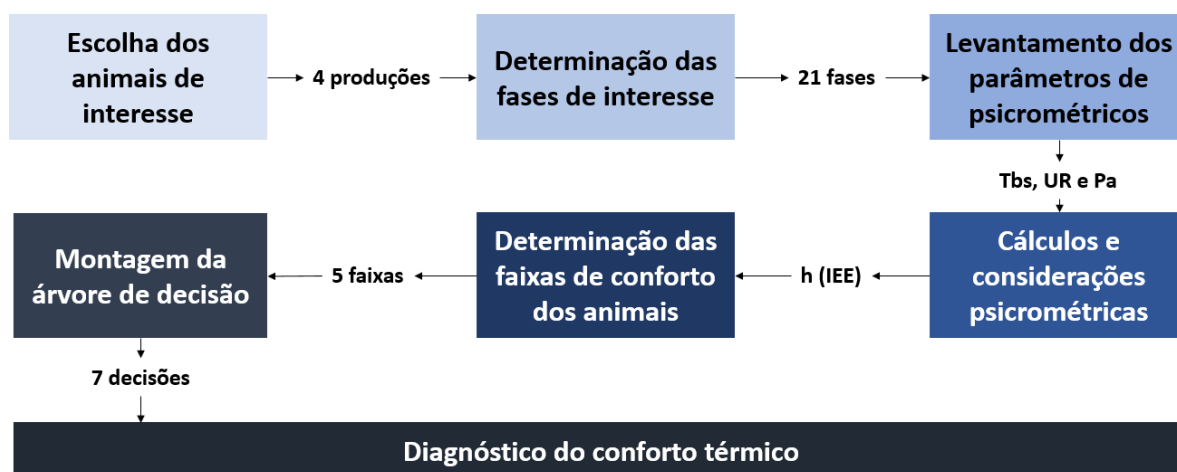


Figura 6. Sequência metodológica: elementos (caixas em tons de azul) e seus respectivos resultados individuais (entre as setas).

No primeiro elemento (escolha dos animais de interesse), foram considerados os animais domésticos de maior relevância na cadeia brasileira de produção de proteína animal, extraindo a bovinocultura de corte. Foram contemplados a avicultura de corte, a suinocultura, a bovinocultura leiteira e a avicultura de postura. Quando se trata do conforto térmico, é importante destacar que as faixas críticas e termoneutras – intervalos que indicam a severidade de estresse térmico – de cada espécie variam de acordo com o estágio de desenvolvimento dos animais (Ribeiro et al., 2018). Nesse sentido, além de determinar os animais de interesse, foi necessário subdividi-los em suas fases de criação, enquanto segundo elemento da metodologia. A obtenção das fases de criação (Tabela 7) seguiram a nomenclatura tradicional de cada cadeia produtiva.

Tabela 7. Produções de interesse e suas respectivas fases de criação

Produção	Fases de criação	Descrição
Avicultura de corte	1ª semana	Animais de 0 a 7 dias de idade
	2ª semana	Animais de 8 a 14 dias de idade
	3ª semana	Animais de 15 a 21 dias de idade
	4ª semana	Animais de 22 a 28 dias de idade
	5ª semana	Animais de 29 a 35 dias de idade
	6ª semana	Animais de 36 a 43 dias de idade
Bovinocultura de leite	Bezerros	Animais de 0 a 2 meses de idade
	Novilhas	Animais de 2 a 24 meses de idade
	Vacas em lactação	Fêmeas adultas durante o período de gestação e lactação
	Vacas secas	Fêmeas adultas durante o período seco
	Touros	Machos reprodutores adultos
	Reprodução (Matrizes)	Matrizes suínas adultas
Suinocultura	Reprodução (Cachaço)	Machos reprodutores adultos
	Maternidade (Leitões)	Animais de 0 até 21-28 dias (peso ideal de 8 kg)
	Creche	Animais de 21-28 até 63 dias (peso ideal de 20-24 kg)
	Crescimento	Animais com peso entre 20 e 55 kg
	Terminação	Animais com peso acima de 55 kg
	1ª semana	Animais de 0 a 7 dias de idade
Avicultura de postura	Cria	Animais de 1 a 6 semanas de vida
	Recria	Animais de 7 a 17 semanas de vida
	Postura	Animais de 18 a 80 semanas de vida

A etapa seguinte foi o levantamento dos parâmetros psicrométricos pela revisão bibliográfica (terceiro elemento da metodologia). Dentro do conjunto de propriedades psicrométricas do ar, as variáveis mais conhecidas e utilizadas são a temperatura de bulbo

seco (Tbs) e a umidade relativa do ar (UR), por serem de fácil coleta e representarem as propriedades bioclimáticas de maior interesse nos estudos de ambiência.

Para cada uma das 21 fases de criação elencadas neste trabalho, foram investigados na literatura os parâmetros clássicos de Tbs e UR utilizados na avaliação das instalações zootécnicas. Foram obtidos os valores registrados para a zona de conforto térmico (ZCT), zona crítica inferior (ZCI) e zona crítica superior (ZCS), que caracterizam as regiões de termoneutralidade dos animais homeotérmicos. Como método de busca bibliográfica, foi utilizada uma revisão sistemática (Pereira e Galvão, 2014) acompanhando as seguintes etapas: 1) compilação de artigos científicos publicados nas principais bases de dados nacionais e internacionais que utilizaram as zonas de termoneutralidade em suas avaliações; 2) identificação do referencial teórico (texto fonte) dos valores de termoneutralidade utilizados nos artigos; 3) busca dos textos fonte na literatura cinzenta (textos com maior dificuldade de encontrar em canais tradicionais de procura); 4) catalogação das faixas de ZCT, ZCI e ZCS, de acordo com o texto fonte, ano de publicação e objeto de estudo (fase de criação).

Na sequência, os textos fonte foram confrontados entre si, com o intuito de se estabelecer um limite único aceitável de ZCT, ZCI e ZCS para Tbs e UR. Nesta padronização, foram utilizados como critério de decisão a concordância de no mínimo dois autores para cada uma das zonas térmicas para as distintas fases de criação.

Ainda no terceiro elemento, Beltrán-Prieto et al. (2015) destacam que as propriedades psicrométricas do ar variam de acordo com a pressão atmosférica local (Pa) e, conseqüentemente, com a altitude (A) do ambiente avaliado. Sendo assim, foram definidos os municípios brasileiros de maior e menor altitude, de acordo o Cadastro de Localidades Brasileiras Selecionadas, pertencente ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), utilizando um banco de dados de 21.304 municípios, vilas, aldeias indígenas e assentamentos rurais nacionais (IBGE, 2016). Os valores de altitude máxima e mínima foram convertidos em Pa mínimo e máximo, respectivamente, de acordo com a equação 5, proposta por Allen et al. (1998):

$$Pa = 101,3 \times \left(\frac{(293 - 0,0065 \times A)}{293} \right)^{5,26} \quad \text{Equação 5}$$

Prospectando uma futura utilização desta metodologia em bases de dados de grande volume, foram determinados três valores fixos de Pa, facilitando os posteriores processamentos computacionais que podem não comportar um grande número de Pa

possíveis. Da amplitude obtida das Pa máxima e mínima, foram gerados 3 sub-intervalos de mesmo espaçamento: o grupo de locais de baixa A e alta Pa, o grupo de locais com A e Pa médias e o grupo com locais de alta A e baixa Pa. Os valores fixos de Pa_{alto}, Pa_{médio} e Pa_{baixo} foram extraídos da média aritmética de cada um dos sub-intervalos, respectivamente.

Já no quarto elemento da metodologia, após a obtenção das zonas críticas e de conforto de Tbs e UR, somadas às considerações feitas para Pa, foi calculado o Índice de Entalpia Específica do Ar (h) – equação 6 – corrigido por Rodrigues et al. (2011).

$$h = 1,006 \cdot Tbs + \left(\frac{UR}{Pa} \right) * 10^{\left[\frac{7,5 \cdot Tbs}{237,3 + Tbs} \right]} * (71,28 + 0,052 Tbs) \quad \text{Equação 6}$$

Utilizando os valores ideais e críticos de Tbs e UR, foi possível determinar as entalpias ideais e críticas para cada fase de produção, para cada um dos três cenários de Pa. Tais resultados foram utilizados no quinto elemento para determinar as ZCI, ZCT e ZCS, obtendo cinco intervalos de categorização da entalpia. Ambientes com h abaixo da ZCI e acima da ZCS foram considerados como situações emergenciais de estresse térmico; ambientes com h entre ZCI e o valor mínimo da ZCT e com h entre o valor máximo da ZCT e ZCS foram considerados como situações de alerta; ambientes com h dentro da ZCT não oferecem riscos ao conforto térmico dos animais.

A partir das faixas obtidas, foi possível elaborar o diagnóstico do conforto térmico utilizando os princípios da árvore de decisão (sexto e penúltimo elemento). Ao realizar uma análise da fórmula da entalpia de Rodrigues et al. (2011) e as relações estipuladas pela carta psicrométrica (Kresta e Ayranci, 2018), foi possível observar que a h e a Tbs, assim como a h e a UR, são grandezas dependentes e diretamente proporcionais.

Causas de h fora da situação ideal de conforto térmico dos animais são consequências de Tbs e/ou UR em estados críticos ou emergenciais. Dessa maneira, para diagnosticar o estresse pela h é necessário compreender as causas primárias, já que a Tbs se relaciona com o aquecimento ou resfriamento do ambiente, e a UR corresponde aos processos de umidificação e secagem (Britto, 2010). A Tabela 8 sumariza a variação de h, sua dependência de Tbs e UR e o diagnóstico de cada problema.

Tabela 8. Diagnósticos possíveis para os problemas de estresse térmico

Diagnóstico	Variável dependente	Variável Independente	Problema
D1	$h = ZCT$ (ideal)	-	Ambiente ideal
D2	$h > ZCT$ (alta)	Tbs e UR $> ZCT$ (alta)	Ambiente quente e úmido
D3		Tbs $> ZCT$ (alta)	Ambiente quente
D4		UR $> ZCT$ (alta)	Ambiente úmido
D5	$h < ZCT$ (baixa)	Tbs e UR $< ZCT$ (baixa)	Ambiente está seco e frio
D6		Tbs $< ZCT$ (baixa)	Ambiente está frio
D7		UR $< ZCT$ (baixa)	Ambiente está seco

h – entalpia; Tbs – temperatura de bulbo seco; UR – umidade relativa; ZCI - zona crítica inferior; ZCT - zona de conforto térmico; ZCS - zona crítica superior

Cada fase de criação das produções propostas nesse trabalho exige respostas (modificações no ambiente) diferentes de acordo com o tipo de problema, utilizando técnicas e dispositivos de climatização distintos. Nesse intuito, foi elaborado uma árvore de decisão geral, a partir do ponto de vista teórico, para o diagnóstico da situação de conforto dos animais de produção, utilizando as 7 possibilidades de diagnósticos possíveis.

Em um primeiro momento, sem a utilização de um conjunto de dados de trabalho, foi proposta uma árvore de decisão teórica com três nós (Tbs, UR e h), utilizando a variável dependente (h) como atributo principal, a Tbs como atributo secundário – por ser mais estudada quando se avalia o conforto térmico dos animais – seguida da UR, como terceiro atributo. Utilizou-se nesta formulação teórica as considerações encontradas na literatura, a partir de caminhos possíveis determinados por um conjunto de regras “SE <condicional> ENTÃO <consequente>” (Andrade et al., 2016; Perissinotto e Moura, 2007). Como cada variável possuía faixas de classificação específicas, elencadas nos elementos anteriores neste trabalho, a árvore de decisão foi elaborada com valores qualitativos ordinalmente (alta, baixa e ideal), e não numéricos. Cada diagnóstico representou uma folha da árvore de decisão.

Em um segundo momento, como um estudo de caso, a modelagem já finalizada foi utilizada e avaliada, na obtenção de árvores de decisão construídas a partir de um banco de dados de uma instalação para bezerros leiteiros. O banco de dados – melhor detalhado por Castro Júnior (2017) – apresenta um conjunto de variáveis físicas do ambiente, onde foi utilizado um datalogger da marca HOBO. Os valores de Tbs e UR foram coletados a cada 1 hora ao longo das 24 horas, durante 65 dias durante os meses de outono, entre abril, maio e junho. Dos valores extraídos, foi calculado a h, sendo esta, a Tbs e a UR classificadas

nominalmente entre baixa, ideal ou alta de acordo com os parâmetros para bezerros extraídos da metodologia deste trabalho.

Na obtenção da árvore de decisão para este estudo de caso, a partir da mineração dos dados, foi utilizado o software Waitato Environment for Knowledge Analysis (WEKA®), versão 3.8.3, bastante empregado em trabalhos com árvores de decisão por incluir uma coleção de algoritmos de fácil manipulação voltados para a aprendizagem de máquinas e a mineração de dados (Perissinotto e Moura, 2007; Zhao e Zhang, 2008; Smith e Frank, 2016).

O conjunto de dados foi inicialmente avaliado de acordo com o balanceamento de seus atributos, determinando se houve diagnósticos de D1 a D7 mais recorrentes no período experimental avaliado. Depois disso, foram utilizados dois algoritmos de classificação supervisionada, o ID3 e o c4.5, que são propostas bastante reconhecidas para elaboração das árvores de decisão. O ID3 é um algoritmo recursivo pioneiro e bastante utilizado na indução de árvores de decisão, permitindo a utilização atributos categóricos (Quinlan, 1986), como é o caso deste trabalho. O algoritmo c4.5, por sua vez, se caracteriza como uma evolução do ID3, utilizando uma medida de razão de ganho que promove melhor divisão dos exemplos do que o ganho de informação, que é utilizado no ID3 (Quinlan, 1993). Ambos os modelos foram executados utilizando como critério de teste a validação cruzada. Os dois algoritmos foram avaliados de acordo com sua acurácia (dados classificados corretamente), e as árvores obtidas pelos modelos foram comparadas com a árvore teórica proposta no desenvolvimento metodológico deste trabalho.

3.3. Resultados

Na obtenção dos parâmetros de Tbs e UR características de cada uma das fases das quatro produções (Tabela 9), foram catalogados um total de 189 registros pela revisão bibliográfica sistemática – Os textos fonte são apresentados na revisão bibliográfica deste trabalho. Vale destacar que alguns textos fonte continham mais de um registro catalogado.

Dentro das fases de crescimento dos frangos de corte, as zonas catalogadas foram semelhantes para todas as semanas, sendo que muitos dos textos base traziam um compilado das zonas de termoneutralidade para todas as semanas. Já para a suinocultura, uma maior expressão de registros foi catalogada pra as matrizes e para os leitões, em comparação com as outras fases de produção, por apresentarem situações antagônicas de conforto térmico que coexistem em um mesmo ambiente produtivo.

Tabela 9. Zonas de termoneutralidade para Tbs e UR para as fases de criação baseadas na revisão bibliográfica

		Temperatura de bulbo seco (°C)			Umidade relativa (%)		
		ZCI	ZCT	ZCS	ZCI	ZCT	ZCS
Aves de corte	1ª semana	30	32-35	39	30	50-70	90
	2ª semana	26	28-32	38	40	50-70	90
	3ª semana	23	26-28	33	40	50-70	90
	4ª semana	15	18-28	32	40	50-70	90
	5ª semana	15	16-28	32	40	50-70	90
	6ª semana	14	16-28	32	40	50-70	90
Suínos	Matrizes	0	10-23	30	30	50-70	90
	Cachaços	0	12-21	30	30	60-70	90
	Maternidade	15	27-34	35	30	50-70	90
	Creche	10	20-24	31	30	50-70	90
	Crescimento	5	16-21	27	30	50-70	90
	Terminação	5	12-21	27	30	50-70	90
Gado de leite	Bezerros	10	16-21	26	20	50-70	90
	Novilhas	-5	12-26	30	20	50-70	90
	Vacas leiteiras	-5	0-25	30	20	50-70	90
	Vacas secas	-10	0-21	27	20	50-70	90
	Touros	-10	0-21	27	20	50-70	90
	Pintainhas	30	33-35	39	30	40-60	90
Aves de postura	Cria	12	18-27	30	30	40-60	90
	Recria	12	18-25	30	30	40-70	90
	Postura	12	14-28	30	30	40-70	90

ZCI - zona crítica inferior; ZCT - zona de conforto térmico; ZCS - zona crítica superior.

Para os bovinos de leite, a maior parte dos trabalhos – 39% dos registros para bovinos – foi catalogada para as vacas em lactação, que possui maior interesse econômico. O mesmo fenômeno ocorreu com as aves poedeiras, com textos base que trazem somente as zonas de termoneutralidade para as aves em postura – 42% dos registros do total para esta produção.

Considerando a classificação para a pressão atmosférica local, destacou-se que a cidade mais alta do país é Campos do Jordão-SP, com sua sede localizada a 1639,3 metros de altitude. O município com menor altitude registrada foi Grossos-RN, a 0 metros do nível do mar. Pela conversão de Allen et al. (1998), a menor pressão atmosférica (Pa), de Campos do Jordão, foi de 625,29 mmHg, enquanto a maior Pa, de Grosso, foi de 759,81 mmHg, gerando um intervalo possível de 134,52 mmHg de amplitude.

Dividindo o intervalo em três grupos e obtendo-se a média aritmética para cada um deles, foram extraídos os três valores fixos de Pa: as cidades que tiverem Pa entre 625,29 e

670,13 mmHg foram agrupadas no grupo de Pa baixo, aproximando seu valor real do $P_{\text{baixo}} = 647,71$ mmHg. As cidades com Pa entre 670,14 e 714,97 mmHg foram agrupadas no grupo com Pa médio, com o valor fixo de $P_{\text{médio}} = 692,55$ mmHg. Já as cidades com Pa entre 714,98 e 759,81 mmHg tiveram seus valores aproximados para $P_{\text{alto}} = 737,39$ mmHg.

Os valores de Tbs e UR resgatados e padronizados por meio da literatura (Tabela 9) e as três condições de Pa obtidas foram utilizados para os cálculos da ZCI, ZCT e ZCS da entalpia para as 21 fases de interesse (Tabela 10).

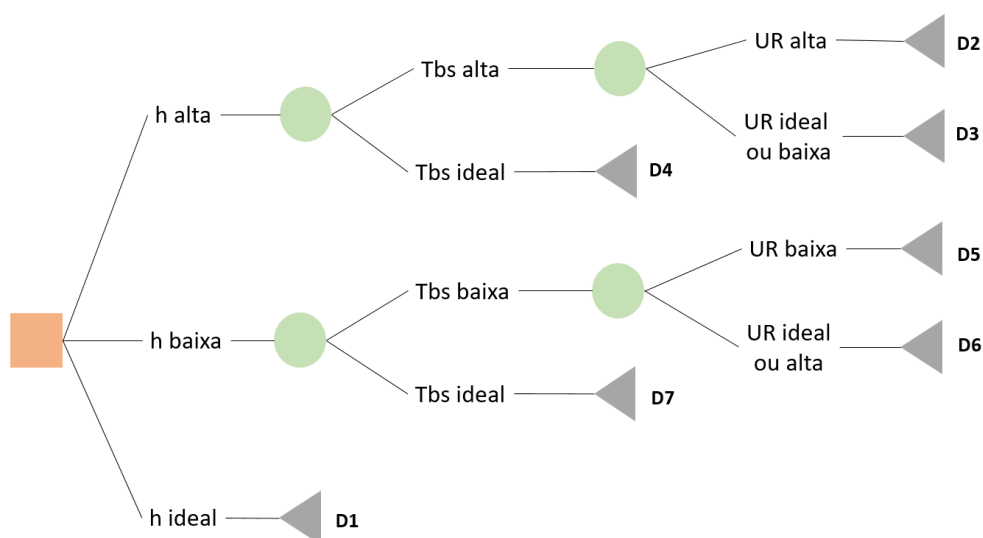
Tabela 10. Zonas de termoneutralidade para a entalpia (em kJ/Kg de ar seco)

	$P_{\text{baixo}} = 647,70$ mmHg			$P_{\text{médio}} = 692,55$ mmHg			$P_{\text{alto}} = 737,39$ mmHg		
	ZCI	ZCT	ZCS	ZCI	ZCT	ZCS	ZCI	ZCT	ZCS
Aves de corte									
1ª sem	57,7	76,1 – 108,0	155,9	52,1	73,2 – 103,3	148,3	50,8	70,7 – 99,1	141,7
2ª sem	50,9	63,0 – 93,6	148,7	49,3	60,7 – 89,6	141,5	47,9	58,7 – 86,1	135,2
3ª sem	43,8	57,1 – 76,9	116,8	42,4	55,1 – 73,7	111,4	41,3	53,3 – 70,9	106,6
4ª sem	27,6	37,0 – 76,9	111,1	26,8	35,8 – 73,7	106,0	26,1	34,7 – 70,9	101,5
5ª sem	26,6	32,7 – 76,9	111,1	26,8	31,6 – 73,7	106,0	26,1	30,7 – 70,9	101,5
6ª sem	25,8	34,8 – 76,9	111,1	25,0	33,7 – 73,7	106,0	24,4	32,7 – 70,9	101,5
Suíños									
Matr	3,4	21,3 – 59,2	100,5	3,1	20,5 – 56,9	96,0	2,9	19,9 – 54,8	92,0
Cach	3,4	24,9 – 53,0	100,5	3,1	24,0 – 51,0	96,0	2,9	23,3 – 49,1	92,0
Mate	24,5	60 – 103,0	128,8	23,9	57,8 – 98,5	122,7	23,3	56,0 – 94,6	117,4
Crec	16,8	41,5 – 62,5	105,7	16,4	40,2 – 60,0	100,9	16,0	38,9 – 57,8	96,7
Cres	9,8	32,7 – 53,0	86,2	9,5	31,6 – 51,0	82,3	9,2	30,7 – 49,1	79,0
Term	9,8	24,9 – 53,0	86,2	9,5	24,0 – 51,0	82,3	9,2	23,3 – 49,1	79,0
Gado de leite									
Bez	14,6	32,7 – 53,0	81,7	14,3	31,6 – 51,0	78,1	14,0	30,7 – 49,1	75,0
Nov	-3,6	24,9 – 69,4	100,5	-3,7	24,0 – 66,6	96,0	-3,8	23,3 – 64,1	92,0
Lei	-3,6	5,6 – 65,9	100,5	-3,7	5,2 – 63,2	96,0	-3,8	4,9 – 60,9	92,0
Sec	-9,1	5,6 – 53,0	86,2	-9,2	5,2 – 51,0	82,3	-9,2	4,9 – 49,1	79,0
Tou	-9,1	5,6 – 53,0	86,2	-9,2	5,2 – 51,0	82,3	-9,2	4,9 – 49,1	79,0
Aves de postura									
1ª sem	53,7	70,4 – 97,6	155,9	52,1	68,0 – 93,6	148,3	50,8	65,9 – 90,0	141,7
Cri	19,8	33,2 – 66,5	100,5	19,3	32,3 – 64,0	96,0	18,8	31,4 – 61,7	92,0
Rec	19,8	32,2 – 65,9	100,5	19,3	32,3 – 63,2	96,0	18,8	31,4 – 60,9	92,0
Pos	19,8	25,8 – 76,9	100,5	19,3	25,0 – 73,7	96,0	18,8	24,4 – 70,9	92,0

ZCI - zona crítica inferior; ZCT - zona de conforto térmico; ZCS - zona crítica superior; 1ª sem – 1ª semana; 2ª sem – 2ª semana; 3ª sem – 3ª semana; 4ª sem – 4ª semana; 5ª sem – 5ª semana; 6ª sem – 6ª semana; Matr – matrizes; Cach – cachacos; Mate – maternidade; Crec – creche; Cres – crescimento; Term – terminação; Bez – bezerros; Nov – novilhas; Lei – vacas leiteiras; Sec – vacas secas; Tou – outros; Cri – criação; Rec – recria; Pos – postura.

De forma generalizada, é possível observar que as faixas de h possuem valores maiores para os animais mais jovens, e vão diminuindo progressivamente ao longo do crescimento dos animais. Ademais, com o aumento da P_a , os valores de h diminuem.

Como propósito final da metodologia, foi elaborada a árvore de decisão teórica com base nos valores obtidos de entalpia (Figura 7). O atributo raiz (quadrado laranja) foi a entalpia, que é a variável dependente do sistema. De acordo com seu resultado, abre-se os nós de Tbs e, logo após, da UR (círculos em verde). Os nós que respondem à Tbs ideal pressupõem que somente a umidade está alta e/ou baixa. Os diagnósticos (triângulos cinzas) são alcançados seguindo os critérios utilizados na Tabela 8.



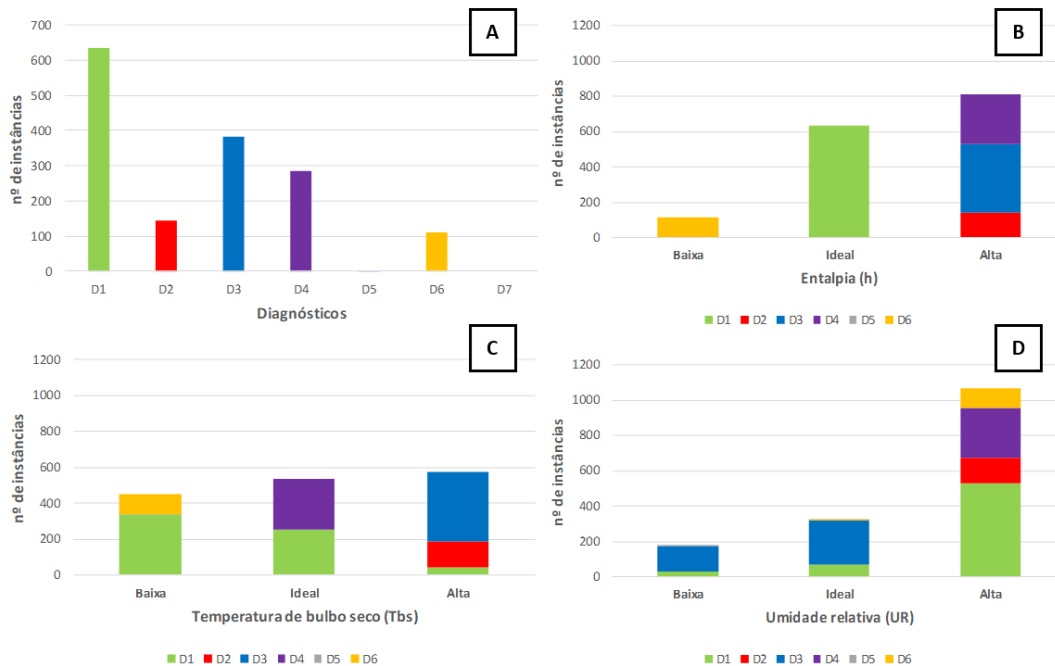
h – entalpia; Tbs – temperatura de bulbo seco; UR – umidade relativa.

Figura 7. Arvore de decisão genérica para o diagnóstico do conforto térmico

No estudo de caso com o banco de dados de um abrigo individual para bezerros, foram utilizadas 1559 instâncias (par de dados de Tbs e UR). Foi aplicada a metodologia desenvolvida neste trabalho: Os dados de Tbs e UR foram categorizados em “baixa”, “ideal” e “alta” de acordo com a Tabela 9, utilizando a classificação para bezerros; a pressão atmosférica real de Pirassununga, de 692,55 mmHg foi aproximada para o valor fixo de $P_{a\text{alto}} = 705,15$ mmHg; e a entalpia foi calculada e classificada como “baixa”, “ideal” ou “alta” utilizando a Tabela 10. O diagnóstico de conforto foi determinado pela Tabela 8, classificando o conjunto de dados de D1 até D7.

O conjunto de dados foi avaliado inicialmente pelo balanceamento dos atributos. Pela distribuição dos diagnósticos (Figura 8.A), foi possível observar que a maioria das instâncias (40%) apresentaram como classificação o diagnóstico D1 (ambiente ideal), seguido

de D3 (ambiente quente) e D4 (ambiente úmido), com 25% e 18%, respectivamente. Os diagnósticos D2 (ambiente quente e úmido) e D5 (ambiente frio) apresentaram, respectivamente, 9% e 7% das instâncias diagnosticadas. Somente um registro foi classificado como D5 (ambiente frio e seco) e não houve registro do diagnóstico D7 (ambiente seco).



D1 – ambiente ideal; D2 – ambiente quente e úmido; D3 – ambiente quente; D4 – ambiente úmido; D5 – ambiente frio e seco; D6 – ambiente frio; D7 – ambiente seco.

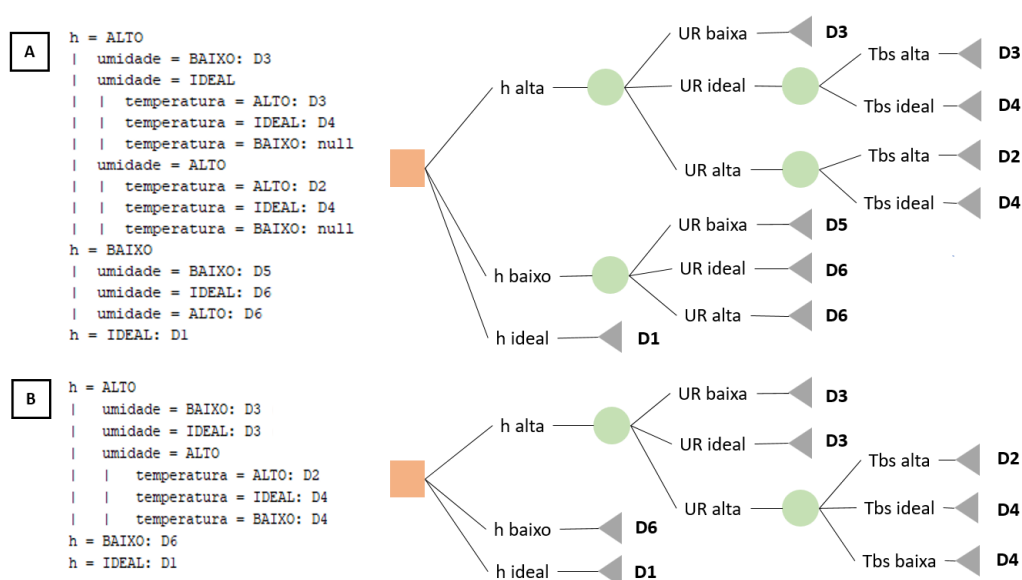
Figura 8. Distribuição dos diagnósticos no banco de dados (A) e distribuição da entalpia (B), da temperatura de bulbo seco (C) e da umidade relativa (D) por diagnóstico.

Na distribuição do atributo entalpia (Figura 8.B), foi possível observar o desbalanceamento por meio da maior quantidade de instâncias classificadas com h alta (812 instâncias), seguido de h ideal (634 instâncias) e por fim h baixa (113 instâncias). Dentro da categoria alta, os diagnósticos finais foram D4 (285 instâncias), D3 (384 instâncias) e D2 (143 instâncias). Todos os ambientes com h ideal foram diagnosticados como D1, assim como todos os de h baixa foram catalogados como D6 (112 instâncias) e D5 (1 instância).

A temperatura de bulbo seco (Figura 8.C) foi o atributo que apresentou o menor desbalanceamento, mantendo ainda distribuição irregular dos diagnósticos dentro de cada classificação de Tbs. Das 571 das instâncias que foram classificadas como Tbs alta, 44 foram diagnosticadas como D1, 143 como D2 e 384 como D3. Das 537 classificadas como Tbs ideal, 252 se destinaram para D1 e 285 para D4. Das 451 instâncias classificadas como Tbs baixa, 338 foram diagnosticadas como D1, 112 foram classificadas como D6 e 1 como D5.

Por outro lado, a umidade relativa do ar (Figura 8.D) foi o atributo que apresentou maior desbalanceamento. 1064 instâncias foram classificadas como UR alta, que foram diagnosticados como D1 (531), D2 (143), D4 (284) e D6 (106). 322 instâncias foram classificadas como UR ideal. Destes, 72 foram diagnosticados como D1, 243 como D3 e 6 como D6. Para os 173 registros catalogados como UR baixo, 31 foram diagnosticados como D1, 141 como D3 e 1 como D5.

Os dados obtidos dos abrigos para bezerros foram treinados pelos algoritmos ID3 e c4.5. Para o ID3, foi obtido uma acurácia de 99,55%, com 7 instâncias classificadas erroneamente pelo teste de validação cruzada. O algoritmo não reconheceu o diagnóstico D5, classificando esta instância enquanto D6. Também houve confusão de classificação entre D1 e D6 (2 erros) e D4 e D3 (4 erros). O c4.5 apresentou uma acurácia de 99,87%, acumulando 2 erros de classificação: D5 foi classificado pelo algoritmo como D6 e D3 como D4. A Figura 9 apresenta as árvores de decisão propostas pelos dois algoritmos. O ID3 utilizou a entalpia como atributo raiz, com quatro nós (Figura 9.A). O diagnóstico D7 não foi apresentado, já que este não foi indicado no banco de dados dos abrigos para bezerros. O algoritmo c4.5, por sua vez, também colocou a entalpia como primeiro atributo avaliado (Figura 9.B). Contudo, a árvore de decisão gerada foi mais enxuta, com somente dois nós, que não diagnosticaram D5 e D7.



h – entalpia; Tbs – temperatura de bulbo seco; UR – umidade relativa; D1 – ambiente ideal; D2 – ambiente quente e úmido; D3 – ambiente quente; D4 – ambiente úmido; D5 – ambiente frio e seco; D6 – ambiente frio; D7 – ambiente seco.

Figura 9. Árvores de decisão estruturais, do software Weka®, e sua representação gráfica, utilizando o algoritmo ID3 (A) e c4.5 (B).

3.4. Discussão

Quando se trata de utilizar a Tbs e a UR como parâmetros de conforto térmico dos animais a partir de uma avaliação do ambiente, os estudos utilizam diferentes referências bases para comparar os registros coletados com o ideal para a espécie. Contudo, os textos base apresentam divergências entre si na determinação de conforto dentro de uma mesma fase de criação, o que pode levar a variações de diagnóstico nos estudos de ambiência, dependendo do critério utilizado pela escolha do referencial teórico.

Ademais, ao agrupar os textos-base, foi possível observar algumas limitações destes trabalhos: muitos destes apresentam somente a zona ideal de conforto térmico, sem caracterizar as zonas críticas; grande parte dos trabalhos estabelecem parâmetros claros para a Tbs, mas poucos apresentam os limites específicos para a UR, colocando essa variável como característica secundária na determinação do conforto térmico; na produção de leite e ovos, há o maior interesse em estabelecer critérios para os animais produtores (vacas de leite e aves de postura), carecendo de parâmetros para os animais jovens; muitos dos trabalhos - tantos os nacionais quanto os internacionais - são datados das décadas de 80 e 90, havendo poucas atualizações para as raças e linhagens modernas. Como exemplos de contrapartida, Cassuce et al. (2013) atualizaram as zonas termoneutras para frangos de corte de 0 a 21 dias e Andrade et al. (2019) apresentaram trabalho similar para aves poedeiras na fase de cria.

Por fim, embora diversos autores concordem que a espécie, raça, sexo, idade, estado fisiológico, o processo de aclimação e outros fatores devem ser considerados para compreender as faixas termoneutras dos animais de produção (Martello et al., 2004; Nascimento et al., 2019), a literatura se utiliza de parâmetros genéricos. Nesse contexto, a padronização da Tbs e UR baseada nos registros encontrados na literatura como parte da metodologia apresentada neste trabalho (Tabela 9) minimizou algumas das deficiências da utilização destes índices ao propor faixas de ZCI, ZCT e ZCS que unificaram o conjunto de referências base a partir das afinidades destes textos.

Ainda no desenvolvimento de uma metodologia que se utiliza das relações psicrométricas do ar, a padronização das faixas de Tbs e UR foi importante para estabelecer as zonas críticas e de conforto para a entalpia. Este trabalho atualiza as faixas de entalpia estabelecidas por Barbosa Filho et al. (2007) ao incorporar as considerações feitas na Tabela 10 e permitir a obtenção da entalpia baseada na localização (pela pressão atmosférica local).

No cálculo da entalpia, Barbosa Filho et al. (2007) utilizaram a equação apresentada por Furlan (2001), que utiliza como variáveis de entrada somente a Tbs e a UR. Queiroz et al.

(2012) recalcularam a entalpia para frangos de corte considerando os cálculos de Rodrigues et al. (2011), mas somente para regiões a nível do mar (com pressão a 1 atm). A Tabela 10 evidencia que para locais de menor altitude (e maior pressão atmosférica), os valores de h são ajustados para baixo, principalmente a ZCS, concluindo-se que esta variável é de grande relevância na obtenção mais próxima do real do diagnóstico do conforto térmico.

Embora a h , por si só, já indique a situação de conforto térmico dos animais de produção, a metodologia desenvolvida neste trabalho visou discutir as causas e possíveis indicações de melhorias no ambiente de alojamento, sendo necessário, então, avaliar também a Tbs e a UR. Os diagnósticos de 1 a 7 partem das curvas psicrométricas, que indicam como a Tbs e a UR podem ser ajustadas para inserir os animais dentro da zona ideal de h , conforme exemplificado graficamente por Kumar et al. (2016) com zonas de conforto térmico para humanos.

O diagnóstico D1 indica que h está dentro da faixa ideal de conforto térmico dos animais de produção. Nesse sentido, a recomendação é manter as condições psicrométricas do ambiente constantes.

Desdobramentos da entalpia alta são diagnosticados em D2, D3 e D4. O resultado D2 indica que a Tbs e a UR estão acima do considerado confortável para os animais. Nestes ambientes, recomenda-se promover a ventilação por meio de manejo de cortina, ventiladores e/ou dutos de ar localizados, com o objetivo de promover trocas de calor por convecção e evaporação (melhor sensação térmica) (Santos et al., 2009; Khongsatit et al., 2019). Diferente de D2, D3 permite a utilização da UR, que está baixa ou ideal, para regular a Tbs nos ambientes. Nesse cenário, é possível acionar mecanismos que utilize a umidificação do ar (ex: aspersores e nebulizadores) no processo de resfriamento evaporativo do ar, com destaque para os sistemas de resfriamento adiabático evaporativo (Smith et al., 2016). Como resultado, a Tbs diminui, a UR aumenta e a entalpia se estabiliza, lembrando sempre que a UR não deve ultrapassar o aceitável para os animais (Martello et al., 2004; Queiroz et al., 2017). D4, por sua vez, indica que há problemas no ambiente relacionados à alta umidade. A renovação de ar neste caso é importante, pois deve-se retirar o acúmulo de ar úmido no interior dos galpões. Jackson et al. (2018) destacam a importância da ventilação mínima nos processos de troca de ar nas instalações para animais de produção.

Os diagnósticos D5, D6 e D7 procedem de ambientes com h baixa. A resultante D5 indica que tanto a Tbs quanto a UR estão abaixo do ideal, sendo necessário aquecer e umidificar o ambiente. D6, por sua vez, indica que o ambiente está frio, que é uma situação comum para animais recém-nascidos, como pintos e leitões (Braga et al., 2018; Sartor et al.,

2018). Para ambos os diagnósticos, é possível obter o aumento da Tbs com uso de dispositivos artificiais, como campânulas, fornalhas a lenha, piso aquecido, área protegida (círculos de proteção e abrigos escamoteadores), entre outros. Para D5, deve-se manter atenção para a umidade relativa, que pode ser manejada pela ventilação mínima (Menegali et al., 2013). D7 indica que há um problema com o ambiente seco. Para tal diagnóstico, é importante promover a umidificação – com nebulizadores – de forma descontínua, para evitar mudanças drásticas na temperatura do ambiente.

Os diagnósticos promovem soluções básicas, estabelecendo prioridades de ação em ambientes desconfortáveis para os animais. Em todo o caso, deve-se levar em consideração as especificidades e limitações (econômicas, estruturais, regionais, entre outras) de cada empreendimento rural.

Estudos atuais utilizam técnicas sofisticadas para a predição e determinação do conforto térmico dos animais de produção, como as redes neurais e modelagens fuzzy (Abreu et al., 2015; Damasceno et al., 2017; Sousa, et al., 2018). Enquanto uma metodologia de uso prático, este trabalho definiu o uso das árvores de decisão pelos seguintes critérios: a) são de fácil interpretação e podem ser representadas graficamente; b) não demandam um pré-processamento robusto e trabalhoso dos dados de entrada; c) são sensíveis a problemas de múltiplos rótulos (quando uma instância é associada a mais de uma classe simultaneamente); d) permitem operar com valores faltantes, o que é recorrente em dados de ambiente; e) permitem manipular dados categóricos e numéricos. Vale lembrar que a árvore de decisão resultante da última etapa da metodologia desenvolvida (Figura 7) é genérica e deve ser reconhecida como um ponto de partida para estudos específicos, considerando o animal e a fase de criação de interesse, a época do ano e o local do experimento.

O estudo de caso teve por objetivo aplicar e validar a metodologia proposta neste trabalho, avaliando um abrigo individual para bezerros durante o outono. As médias para o banco de dados foram $19,43 \pm 6,21$ °C para Tbs, $77,17 \pm 18,33$ % para UR e $48,48 \pm 12,35$ kJ/Kg de ar seco para h. Ainda que o diagnóstico D1 (em conforto) tenha obtido a maior quantidade de instâncias, os diagnósticos relacionados com a entalpia alta (D2, D3 e D4) caracterizaram o abrigo na maior parte do tempo, somando juntas 812 (52%) instâncias. Mesmo no outono, diagnósticos relacionados a baixa entalpia (D5, D6 e D7) representaram 113 instâncias somadas (cerca de 7% de todo o banco de dados). Os resultados ressaltam a dificuldade do alojamento de bezerros em climas tropicais e subtropicais, como é recorrente observar nos resultados de outros trabalhos (Araujo et al., 2016; Cabral et al., 2017).

As propriedades do banco de dados utilizado foram determinantes na configuração das árvores de decisão propostas pelos algoritmos ID3 e c4.5. Como a h é derivada diretamente da Tbs e da UR , foi utilizado um pré-processamento dos dados (convertendo valores numéricos em dados categóricos ordinais) e todos os valores e classes presentes no banco de dados foram conhecidos, ambas as redes apresentaram ótima acurácia. Vale destacar que em situações não ideais (com valores faltantes e incertezas na classificação), a acurácia pode diminuir.

A boa acurácia das árvores de decisão é recorrente ao aplicá-las na classificação do conforto térmico. Perissinotto e Moura (2007) atingiram 96% de acurácia utilizando dados numéricos de ITU. Vale et al. (2008) atingiram 89% de acurácia utilizando como atributos a velocidade do vento e a temperatura ambiente, que são grandezas que não possuem dependência direta. Nascimento et al. (2011) alcançaram a acurácia máxima de 60% a partir de diversos conjuntos de regras, utilizando um conjunto complexo de atributos como umidade relativa, temperatura de ponto de orvalho, temperatura de bulbo seco e úmido, ITU, temperatura de globo negro, idade das aves e temperaturas superficiais.

Ao observar as árvores de decisão geradas pelos algoritmos (Figura 9), nota-se que estas são mais sintéticas quando comparadas ao modelo teórico (Figura 7). É importante ressaltar que as árvores treinadas refletiram a realidade dos dados utilizados no estudo de caso, dando maior destaque às situações onde a h foi alta e descartando os diagnósticos D7, que não apareceu no banco de dados, e D5, classificado erroneamente. O estudo de caso denota, assim, a importância de adequar a metodologia padrão – por meio da árvore de decisão teórica – para cada circunstância de uso, simplificando o método proposto quando necessário.

Ao aplicar a metodologia desenvolvida no estudo de caso, foram relatados problemas de estresse térmico em bezerros causados pela alta entalpia no ambiente de alojamento durante boa parte do período experimental (outono). A partir dos dados reais, foi possível adaptar a tomada de decisão para um sistema específico, simplificando as árvores de decisão e mantendo alto nível de acurácia.

3.5. Conclusão

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma metodologia para avaliação do estresse térmico dos animais de produção utilizando como princípio básico as relações psicrométricas do ar. A metodologia se apresenta enquanto uma ferramenta de grande

potencial por ser de simples compreensão e utilização, permitindo a sua adaptação para casos particulares. Ainda assim, a metodologia não perde seu caráter de constituição mais complexa, que além de classificar a situação de conforto, sugere possíveis modificações no ambiente.

Agradecimentos

Este estudo foi financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Referências

- Abreu, L. H.; Yanagi Junior, T.; Fassani, É. J.; Campos, A. T. and Lourençoni, D. 2015. Fuzzy modeling of broiler performance, raised from 1 to 21 days, subject to heat stress. *Engenharia Agrícola* 35:967-978.<http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n6p967-978/2015>
- Allen, R. G.; Pereira, L. S., Raes, D. and Smith M. 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome.
- Andrade, R. R.; Tinôco, I. D. F. F.; Baêta, F. C., Albino, L. F. T. and Cecon, P. R. 2019. Influence of different thermal environments on the performance of laying hens during the initial stage of rearing. *Engenharia Agrícola* 39:32-40.<http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v39n1p32-40/2019>
- Andrade, T. C.; Nery, J. M. F. G.; Miranda, S.; Pitombo, C.; Moura, T. and Katzschner, L. 2016. Medição do conforto térmico em áreas públicas urbanas de Salvador-BA e calibração do índice de conforto pet usando a técnica árvore de decisão. *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais* 4:278-296. <http://dx.doi.org/10.9771/gesta.v4i2.16821>
- Araujo, J. I. M.; Araujo, A. C.; Rodrigues, H. T. M.; Oliveira, L. G.; Junior, C. P. B.; Fonseca, W. J. L. and Souza Júnior, S. C. 2016. Efeito de diferentes ambientes climáticos sobre características fisiológicas de bezerros mestiços (Holandês X Gir). *Revista de Ciências Agroveterinárias* 15:259-265. <http://dx.doi.org/10.5965/223811711532016259>
- Aziz, Z.; Varma, G. G.; Raji, K. and Gleeja, V. L. 2016. Influence of temperature humidity index on the physiological parameters and growth rate of crossbred cattle calves. *International Journal of Applied and Pure Science and Agriculture* 2:187-190.
- Barbosa Filho, J. A. D.; Vieira, F. M. C.; Garcia, D. B.; Silva, M. A. N. and Silva, I. J. O. 2007. Mudanças e uso das tabelas de entalpia. Available at: <<http://nupea.esalq.usp.br>>. Accessed on: Aug. 08, 2019.

- Beltrán-Prieto, J. C.; Beltrán-Prieto, L. A. and Nguyen, L. H. B. S. 2015. Estimation of psychrometric parameters of vapor water mixtures in air. *Computer Applications in Engineering Education* 24: 39-43.<https://doi.org/10.1002/cae.21670>
- Braga, J. S.; Macitelli, F.; Lima, V. A. and Diesel, T. 2018. O modelo dos “Cinco Domínios” do bem-estar animal aplicado em sistemas intensivos de produção de bovinos, suínos e aves. *Revista Brasileira de Zootecias* 19:204-226.<https://doi.org/10.34019/2596-3325.2018.v19.24771>
- Britto, J. F. B. 2010. Considerações sobre psicrometria. *Revista SBCCv*. 45:35-41.
- Buffington, D. E.; Collazo-Arocho, A. and Canton, G. H. 1981. Black globe-humidity index (BGHI) as confort equationfor dairy cows. *Transactions of the American Society ofAgricultural Engineers*24:711-714.
- Castro Júnior, S. L. 2017. Novas tipologias construtivas não convencionais para abrigos individuais de bezerros: estudo da ambiência e de características fisiológicas e comportamentais de animais alojados. Trabalho de Conclusão de Curso – (Graduação em Engenharia de Biosistemas) - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 80 f.
- Cabral, M. R.; Nakanishi, E. Y.; Fiorelli, J. and Savastano Jr, H. 2017. Avaliação do desempenho térmico de bezerreiros com eco-forro de partículas de madeira e fibra de sisal. *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas* 11:217-228.<http://dx.doi.org/10.18011/bioeng2017v11n3p217-228>
- Cassuce, D. C.; Tinôco, I. D. F. F.; Baêta, F. C.; Zolnier, S.; Cecon, P. R. and Vieira, M. D. F. A. 2013. Atualização das temperaturas de conforto térmico para frangos de corte de até 21 dias de idade. *Engenharia Agrícola* 33:28-36. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162013000100004>.
- Chu C. M., Jong T. L. 2008. Enthalpy estimation for thermal comfort and energy saving in air conditioning system. *Energy Conversion and Management* 49:1620-1628.<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2007.12.012>
- Damasceno, F. A.; Cassuce, D. C.; Abreu, L. H. P.; Schiassi, L. and Tinôco, I. D. F. F. 2017. Effect of thermal environment on performance of broiler chickens using fuzzy modeling. *Revista Ceres*64:337-343.<http://dx.doi.org/10.1590/0034-737x201764040001>
- Esmay, M. L. 1979. Principles of animal environment. *Environmental Engineering in Agriculture and Food Series*.The AVI Publishing Company, Inc., New York.
- Furlan, R. A. 2001. Avaliação da nebulização e abertura de cortinasna redução da temperatura do ar em ambiente protegido. Thesis (D. Sc.). Universidade de São Palo, Piracicaba, SP, Brazil.
- He, J.; Zheng, W.; Lu, M.; Yang, X.; Xue, Y. and Yao, W. 2019. A controlled heat stress during late gestation affects thermoregulation, productive performance, and metabolite

profiles of primiparous sow. *Journal of Thermal Biology* 81:33-40.<https://doi.org/10.3168/jds.2017-12651>

- Heidari, H.; Golbabaie, F.; Shamsipour, A.; Rahimi Forushani, A. and Gaeini, A. 2016. Determination of air enthalpy based on meteorological data as an indicator for heat stress assessment in occupational outdoor environments, a field study in Iran. *Journal of Research in Health Sciences*16:133-40.
- Heidari, H.; Rahimifard, H.; Mohammadbeigi, A.; Golbabaie, F.; Sahranavard, R. and Shokri, Z. 2018. Validation of air enthalpy in evaluation of heat stress using wet bulb globe temperature (WBGT) and body core temperature: A case study in a hot and dry climate. *Health and Safety at Work* 8:81-92.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2016. Cadastro de Localidades Brasileiras Selecionadas. Available at: ftp://geoftp.ibge.gov.br/organizacao_do_territorio/estrutura_territorial/localidades/. Accessed on: Aug. 08, 2019.
- Jackson, P.; Guy, J. H.; Sturm, B.; Bull, S. and Edwards, S. A. 2018. An innovative concept building design incorporating passive technology to improve resource efficiency and welfare of finishing pigs. *Biosystems Engineering* 174:190-203.<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.07.008>
- Khongsatit, K.; Pholdee, N. and Suriyawanakul, J. 2019. Three optimization models for air inlet positioning to enhance air flow profile in forced ventilation poultry houses. *Farm Engineering and Automation Technology Journal* 5:58-68.
- Kresta, S. and Ayranci, I. 2018. Psychrometric charts in color: An example of active learning for chemical engineering students and faculty members. *Education for Chemical Engineers*22:14-19.<https://doi.org/10.1016/j.ece.2017.07.003>
- Kumar, S.; Mathur, J.; Mathur, S.; Singh, M. K. and Loftness, V. 2016. An adaptive approach to define thermal comfort zones on psychrometric chart for naturally ventilated buildings in composite climate of India. *Building and Environment*109:135-153.<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.09.023>
- Martello, L. S.; Savastano Junior, H.; Silva, S. L. and Titto, E. A. L. 2004. Respostas fisiológicas e produtivas de vacas holandesas em lactação submetidas a diferentes ambientes. *Revista Brasileira de Zootecnia* 33:181-191.
- Menegali, I.; Tinoco, I. F. F.; Carvalho, C. C. S.; Souza, C. F. and Martins, J. H. 2013. Comportamento de variáveis climáticas em sistemas de ventilação mínima para produção de pintos de corte. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 17:106-113.<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662013000100015>
- Nascimento G. R.; Nääs, I. A.; Pereira, D. F.; Dutra Junior, W. M.; Maia, A. P. A. and Zanetti, L. H. 2011. Previsão de conforto térmico de frangos de corte utilizando mineração de dados. *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas*, 5:36-46. <http://dx.doi.org/10.18011/bioeng2011v5n1p36-46>

- Nascimento, F. G. O.; Bizare, A.; Guimarães, E. C., Mundim, A. V. and Nascimento, M. R. B. M. 2019. Efeito das estações do ano e da idade sobre as variáveis termofisiológicas e hematológicas de bezerros leiteiros mestiços em ambiente tropical. *Acta Scientiae Veterinariae*47:1-12. <https://doi.org/10.22456/1679-9216.89413>
- Pereira, M. G. and Galvão, T. F. 2014. Etapas de busca e seleção de artigos em revisões sistemáticas da literatura. *Epidemiologia e Serviços de Saúde* 23:369-371. <https://doi.org/10.5123/S1679-49742014000200019>
- Perissinotto, M. and Moura, D. J. 2007. Determinação do conforto térmico de vacas leiteiras utilizando a mineração de dados. *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas*1:117-126. <https://dx.doi.org/10.18011/bioeng2007v1n2p117-126>
- Polsky, L. and Von Keyserlingk, M. A. G. 2017. Effects of heat stress on dairy cattle welfare. *Journal of Dairy Science* 100:8645-8657. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12651>
- Queiroz, M. L. V.; Barbosa Filho, J. A. D. and Vieira, F. M. C. 2012. Guia prático para a utilização de tabelas de entalpia. Available at: <http://www.neambe.ufc.br/arquivos_download/Guia%20Pratico%20de%20Utiliza%C3%A7%C3%A3o%20das%20Tabelas.pdf>. Accessed on: Aug. 08, 2019
- Queiroz, M. L. V.; Barbosa Filho, J. A. D.; Sales, F. A. L.; Lima, L. R. and Duarte, L. M. 2017. Variabilidade espacial do ambiente em galpões de frango de corte com sistema de nebulização. *Revista Ciência Agronômica* 48:586-595.
- Quinlan, J. R. 1986. Induction of decision trees. *Machine Learning*, 1:81-106.
- Quinlan, J. R. 1993. C4.5: programs for machine learning. Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, USA.
- Ribeiro, B. P. V. B.; Lanferdini, E.; Palencia, J. Y. P; Lemes, M. A. G.; Abreu, M. L. T.; Cantarelli, V. S. and Ferreira, R. A. 2018. Heat negatively affects lactating swine: a meta-analysis. *Journal of Thermal Biology*74: 325-330. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2018.04.015>
- Rodrigues, V. C.; Silva, I. J. O.; Vieira, F. M. C. and Nascimento, S. T. 2011. A correct enthalpy relationship as thermal comfort index for livestock. *International Journal of Biometeorology* 55:455-459. <https://doi.org/10.1007/s00484-010-0344-y>
- Santos, P. A.; Baeta, F. C.; Tinôco, I. D. F. F.; Albino, L. F. T. and Cecon, P. R. 2009. Ventilação em modos túnel e lateral em galpões avícolas e seus efeitos no conforto térmico, na qualidade do ar e no desempenho das aves. *Revista Ceres* 56:172-180.
- Sarnighausen, V. C. R. 2019. Estimation of thermal comfort indexes for production animals using multiple linear regression models. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology*7: 73-77. <http://dx.doi.org/10.31893/2318-1265jabb.v7n2p73-77>

- Sartor, K.; Barros, J. D. S.; Sarubbi, J.; Alonso, J. B. and Rossi, L. A. 2018. Thermal insulation with recycled material in creeps for piglets. *Engenharia Agrícola* 38:824-828. <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v38n6p824-828/2018>
- Smith, J. F.; Bradford, B. J.; Harner, J. P.; Potts, J. C.; Allen, J. D.; Overton, M. W.; Ortiz, X. A. and Collier, R. J. 2016. Effect of cross ventilation with or without evaporative pads on core body temperature and resting time of lactating cows. *Journal of Dairy Science*, 99:1495-1500. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9624>
- Smith, T. C. and Frank, E. 2016. Introducing machine learning concepts with WEKA. In *Statistical genomics*. Humana Press, New York.
- Song, Y. and Lu, Y. 2015. Decision tree methods: applications for classification and prediction. *Shanghai Archives of Psychiatry* 27:130-135. <https://doi.org/10.11919/j.issn.1002-0829.215044>
- Sousa, R. V.; Canata, T. F.; Leme, P. R. and Martello, L. S. 2016. Development and evaluation of a fuzzy logic classifier for assessing beef cattle thermal stress using weather and physiological variables. *Computers and Electronics in Agriculture* 127:176-183. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.06.014>
- Thom, E. C. 1959. The discomfort index. *Weatherwise* v.12:57-59.
- Vale, M. M.; Moura, D. J.; Nääs, I. A.; Oliveira, S. R. M. and Rodrigues, L. H. A. 2008. Data mining to estimate broiler mortality when exposed to heat wave. *Scientia Agrícola* 65:223-229. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162008000300001>
- Zhao, Y. and Zhang, Y. 2008. Comparison of decision tree methods for finding active objects. *Advances in Space Research* 41:1955-1959. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2007.07.020>

4. SENSORES DE BAIXO CUSTO PARA A INDICAÇÃO DO NÍVEL DE ESTRESSE TÉRMICO DOS ANIMAIS DE PRODUÇÃO

SERGIO LUIS DE CASTRO JUNIOR*³

*Autor correspondente

Núcleo de Pesquisa em Ambiência, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo (ESALQ/USP), Av. Pádua Dias, 11 Piracicaba/SP, Brasil, 13418-900, sergio.castro@usp.br

GLAUBER DA ROCHA BALTHAZAR

Instituto Federal de São Paulo (IFSP), campus Campinas, Av. Comendador Aladino Selmi, s/n, Campinas/SP, Brasil, 13069-901, glauberbalthazar@gmail.com

IRAN JOSÉ OLIVEIRA DA SILVA

Núcleo de Pesquisa em Ambiência, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo (ESALQ/USP), Av. Pádua Dias, 11 Piracicaba/SP, Brasil, 13418-900, iranoliveira@usp.br

Resumo

Embora o estresse térmico represente um grande desafio para o alojamento de animais em clima quente, as fazendas ainda carecem de dispositivos de coleta e manipulação de dados que automatizem o seu diagnóstico. Neste contexto, este estudo objetivou desenvolver, calibrar e avaliar dois sensores para a determinação do conforto térmico de frangos de corte, poedeiras, suínos e bovinos leiteiros. O processamento foi baseado na entalpia específica do ar, utilizando a temperatura ambiente e a umidade relativa como parâmetros de entrada e obtendo o nível de estresse térmico e o diagnóstico prático enquanto saídas. Os dispositivos foram compostos por microprocessadores Arduino®, somados a aparelhos para coleta dos dados microclimáticos e display para leitura. Como diferença, o primeiro sensor (S1) apresenta um cartão de memória para armazenagem dos dados, enquanto o segundo sensor (S2) possui um módulo Wifi com conexão a um provedor de serviços em nuvem. Calibrações foram feitas em ambiente laboratorial e os sensores foram validados em ambiente aberto, utilizando como referência um data logger comercial com certificado de calibração do fabricante. Foram realizadas comparações técnicas e de custo. Como resultados, os sensores funcionaram de acordo com o processamento proposto e a calibração e validação dos equipamentos de coleta apresentaram resultados condizentes quando comparados ao sensor comercial. Os dois dispositivos apresentaram bom desempenho técnico, com destaque para S2, que é menor e permite monitoramento à distância. Concluindo, os dispositivos possuem grande potencial de aplicação, sendo ferramentas de baixo custo e com atributos técnicos positivos que auxiliam os produtores e sistemas de automação nas tomadas de decisão para a promoção do conforto térmico nos animais.

³ Este capítulo está formatado para publicação na revista Biosystems Engineering, seguindo suas normas de formatação.

Palavras-chave: Arduino®;Entalpia; Termoneutralidade; Gestão de dados

Abstract

Although heat stress represents a major challenge for livestock housing in hot climate, farms still having issues about data collection and manipulation devices to automate its diagnosis. In this context, this study aims to develop, calibrate and evaluate two sensors to determine the thermal comfort of broilers, laying hens, pigs and dairy cattle. The processing applied was based on specific enthalpy of air, using ambient temperature and relative humidity as input parameters and obtaining the level of heat stress and practical diagnosis. The sensors were composed of Arduino® microprocessors, added to devices for microclimatic data collection and displays. As a difference, the first sensor (S1) was build using a memory card for storing data, while the second sensor (S2) had a WiFi module with connection to a cloud service provider. Calibrations were done in a controlled environment and the sensors were validated in a non-controlled environment, using a new commercial data logger with manufacturer's calibration certificate as a reference. Technical and cost comparisons were performed. As a result, the sensors worked according to the proposed processing and the calibration and validation of both sensors presented consistent results when compared to the commercial device. Both sensors showed good technical performance, especially S2, which is smaller and allows remote monitoring. In conclusion, the devices have great potential of application, having low manufacturing cost and positive technical properties that help producers and automation systems in decision making to promote thermal comfort in animals.

Keywords: Arduino®; Enthalpy; Thermoneutrality: Data management

4.1. Introdução

Em países de clima quente, o estresse térmico revela-se como um dos principais gargalos dentre os parâmetros do bem-estar dos animais de produção, além de comprometer o desempenho zootécnico das diversas espécies. O clima, dessa forma, tem influência direta na termorregulação dos mesmos, que quando expostos à ambientes críticos, demandam gasto energético para manter a homeostase (Henry et al., 2012; He et al., 2019). Efeitos do estresse térmico são relatados na literatura, com reflexos deletérios no repertório fisiológico (Rashamol et al., 2018; Collier et al., 2017; Fernandez et al., 2015), comportamental (Nordlund et al., 2019; Nogueira et al., 2016), alimentar (Curtis et al., 2017; Nyoni et al. 2019), reprodutivo (Slimen et al., 2015; Das et al., 2016; Ross et al., 2017) e sanitário (Quintão et al., 2017) dos animais de produção.

De maneira prática, é recorrente a utilização somente da temperatura do ar como medida avaliativa do conforto térmico dos animais. Entretanto, o ar é

caracterizado por um conjunto de elementos psicrométricos, de relações complexas, devendo ser compreendido pela interação dos fatores físicos que o modificam e, assim, favorecer as trocas térmicas entre animais e meio (Aziz et al. 2016).

A psicrometria surge como uma área da ciência que estuda os processos e modificações do ar úmido a partir de suas propriedades físicas, como a entalpia, que considera a quantidade de calor presente em uma unidade de massa de ar seco (Britto, 2010). Permitindo combinar a temperatura do ar, a umidade relativa e a pressão atmosférica local, a entalpia vem ganhando destaque enquanto um indicador do conforto térmico de humanos e animais de produção (Chu e Jong, 2008; Rodrigues et al. (2011); Heidari et al., 2016; Heidari et al., 2018; Sarnighausen, 2019).

Mesmo conhecendo os fatores físicos que comprometem a qualidade de alojamento dos animais, a gerência de dados microclimáticos utilizados para minimizar os efeitos do estresse térmico ainda continua sendo um desafio (Krishnan et al., 2017), havendo raras soluções práticas para diagnosticar o conforto térmico dos animais no campo e em tempo real. Os autores reconhecem também que a gestão destes dados é de extrema necessidade, uma vez que, proporcionar ambientes termicamente confortáveis garantem, direta e indiretamente, possibilidades de lucro. Ademais, ao identificar os problemas relacionados com o ambiente térmico, é possível traçar estratégias de controle com maiores chances de sucesso.

Muitos sensores para a medição de propriedades do ambiente – como a temperatura e a umidade relativa – foram desenvolvidos para construções domésticas e empresariais (Ali et al., 2016; Kunjumon et al., 2016; Balvis et al., 2016) e, em menor número, para as instalações rurais (Oliveira Junior et al, 2018; Ramirez et al., 2018), muitos deles tendo como principal limitação o seu alto-custo. Em contrapartida, a utilização de ferramentas *open source* torna-se uma alternativa, a exemplo do Arduino®, que é um microprocessador de baixo custo de programação para iniciantes que permite incorporar complementos hardware de multifuncionalidades (Haugen e Moore, 2014; D'ausilio, 2012).

No ensejo de proporcionar maior poder de tomada de decisão acerca do microclima das instalações rurais, o objetivo deste trabalho foi desenvolver, calibrar e avaliar tecnicamente sensores de baixo custo para estimar o nível de estresse térmico dos animais de produção, utilizando como critério principal a entalpia e as

relações psicrométricas do ar a partir de diferentes possibilidades de transmissão e transferência de dados.

4.2. Material e métodos

4.2.1. Lógica de processamento

Para estimar o nível de estresse térmico (NET) dos animais de produção, foi necessário propor uma metodologia que utilizasse como variáveis de entrada os dados do ambiente, e retornasse, como saída, a situação de conforto dos animais de produção (Figura 10).

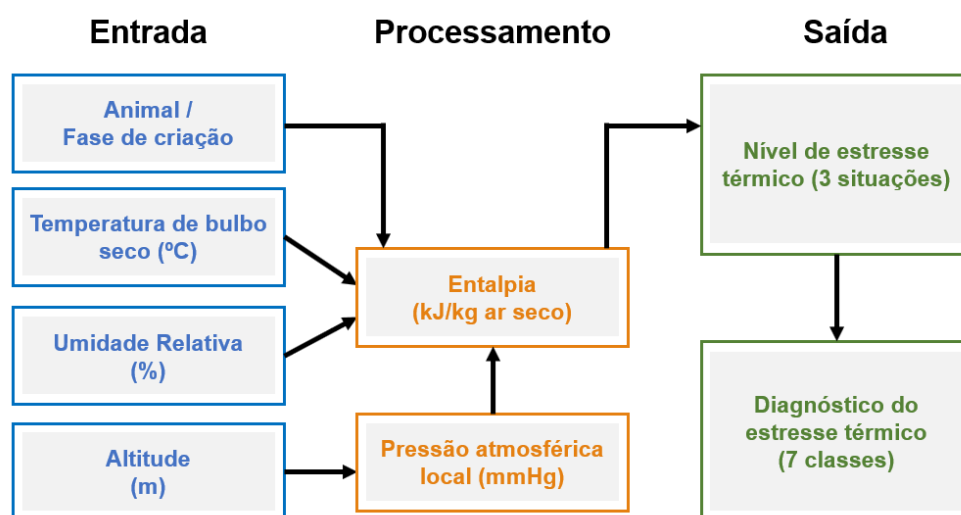


Figura 10. Diagrama de processamento para o diagnóstico do conforto térmico

O tipo de produção animal, a temperatura de bulbo seco (Tbs), a umidade relativa (UR) e a altitude (a) foram as quatro variáveis de entrada utilizadas no sistema de processamento. Para este trabalho, foram considerados como produções animais de interesse os bovinos de leite (subdivididos em bezerros, novilhas, vacas secas, vacas em lactação e touros), os suínos (matrizes, cachaaos, leitões, suínos na fase de creche, suínos na fase de crescimento, suínos na fase de terminação), os frangos de corte (animais com 0, 1, 2, 3, 4, 5 e 6 semanas de vida) e as aves de postura (animais na primeira semana, na fase de cria, na fase de recria e na fase de postura). As quatro produções foram fragmentadas em 21 fases de criação, já que os animais possuem necessidades térmicas distintas ao longo do ciclo produtivo (Ribeiro et al., 2018).

A Tbs e a UR representam as variáveis psicrométricas de entrada abordadas na lógica de processamento. Tais variáveis microclimáticas são de fácil coleta e sua importância e influência é reconhecida no setor produtivo. Diversos estudos ao longo dos anos se debruçaram a levantar valores de Tbs e UR de conforto e críticos para os animais de produção, que foram incorporados na lógica de processamento como parâmetros para determinar a situação de conforto. Todo o processamento aqui descrito é resultante da metodologia prática proposta no Capítulo 3 deste trabalho.

Como as propriedades psicrométricas do ar variam de acordo com a pressão atmosférica local (Pa) (Beltrán-Prieto et al. 2015), foi necessário acrescentá-la na lógica de processamento do sensor. Para isso, foi adicionada como variável de entrada a altitude (m), que foi convertida para Pa – que possuem correlação direta – por meio da equação de Allen et al. (1998). Dados de Tbs, a UR e a Pa foram utilizados para o cálculo da Entalpia (h), baseada na equação de Rodrigues et al. (2011). Para a parametrização da h, esta foi determinada utilizando os valores padrões de Tbs e UR encontrados na literatura para os diferentes animais e fases de criação.

A primeira saída proposta no processamento é a classificação do nível de estresse térmico (NET) dos animais. Valores de h dentro da zona termoneutra ideal para os animais indicam a situação de conforto. Valores de h entre os limites dos valores de conforto e a situação crítica indicam a situação de alerta. Valores de h acima da situação crítica indicam o estado emergencial de conforto (vide Capítulo 3).

Embora o NET seja uma saída válida ao indicar se o ambiente de alojamento está adequado, este não diagnostica qual(is) a(s) causa(s) dos problemas no ambiente. Para isso, a segunda saída proposta no processamento foi o diagnóstico do NET (Tabela 11), que se baseou nos processos psicrométricos do ar que compreendem a temperatura (aquecimento e resfriamento) e a umidade (umidificação e secagem) (Britto, 2010).

Tabela 11. Classificação dos diagnósticos de estresse térmico

D	Variável dependente	Variáveis independentes	Diagnóstico
D1	Conforto		Ambiente ideal
D2	Alerta/emergencial	Tbs e UR altas	Ambiente quente e úmido
D3	Alerta/emergencial	Tbs alta	Ambiente quente
D4	Alerta/emergencial	UR alta	Ambiente úmido
D5	Alerta/emergencial	Tbs e UR baixas	Ambiente frio e seco
D6	Alerta/emergencial	Tbs baixa	Ambiente frio
D7	Alerta/emergencial	UR baixa	Ambiente seco

O diagnóstico D1 indica que, independente da Tbs e UR, o ambiente está ideal pois a h está dentro da zona de conforto dos animais. Os diagnósticos D2, D3 e D4 indicam que h está acima da zona de conforto, resultando em ambientes quentes e/ou úmidos. Já os diagnósticos D5, D5 e D7 indicam que h está abaixo da zona de conforto, referindo-se a ambientes frio e/ou secos.

4.2.2 Arquitetura e desenvolvimento do sensor S1

Para a captação dos dados microclimáticos de entrada, foi utilizado o sensor DHT11 (Aosong), que coleta simultaneamente a Tbs e a UR. A faixa de medição para a Tbs é de 0 a 50°C, com precisão de ± 2.0 °C. A amplitude de medição da UR é de 20 a 90%, com precisão de $\pm 5,0\%$ (a 25°C). O tempo de resposta do sensor é de 2s. O dispositivo DHT11 foi embarcado em uma placa Arduino® UNO R3 equipado com um microcontrolador ATmega328, com capacidade útil de 14 portas digitais e 6 portas analógicas. Já para a leitura dos dados de saída, foi adicionado um display de LCD de luz de fundo azul, com 16 colunas e 2 linhas. O módulo leitor foi programado para apresentar ao usuário a Tbs, a UR, a h e o NET, atualizados a cada 6 segundos. Em conjunto com o display LCD, foi utilizado um potenciômetro para regulagem da intensidade de luz do visor.

Para gravação dos dados, foi utilizado um módulo leitor em cartão SD micro. Associado ao cartão, foi adicionado um relógio de tempo de alta precisão RTC (Real Time Clock) modelo DS3231, capaz de computar segundos, minutos, horas, dias, mês e ano. O RTC foi incluído no dispositivo para registrar o horário das coletas de Tbs e UR do Arduino. O Cartão SD foi programado para registrar dados de hora/dia

(proveniente do RTC), Tbs e UR (proveniente do DHT11), além da h, NET e D (processados).

A Figura 11 apresenta o esquema de montagem do sensor S1 e o dispositivo desenvolvido. Em paralelo com o desenvolvimento do hardware, a lógica de programação – proposta no item 2.1 – foi elaborada no software Arduino IDE, sendo adaptada para a linguagem de programação C++.

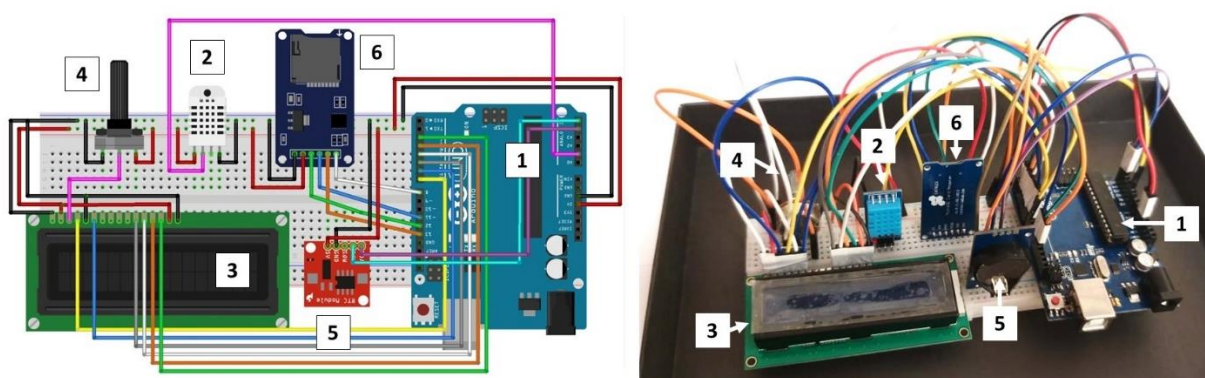


Figura 11. Sensor S1 para medição do NET de animais de produção: (A) esquema de montagem e (B) sensor desenvolvido. Legenda: 1 - Arduino® Uno; 2 – DHT11; 3 – Display LCD; 4 – Potenciômetro; 5 – RTC DS2311; 6 – Módulo cartão SD mini.

Sendo projetado para instalações agrícolas, o sensor está sujeito à ambientes úmidos, com alta porcentagem de partículas suspensas no ar, possibilidade de choque com animais e manipuladores, entre outras adversidades. Para isso, foi projetado uma caixa protetora, constituída de material acrílico sob uma base de madeira, cortado a laser. Foram considerados aberturas para o cabo de energia, do sensor DHT11, do display LCD e do cartão de memória.

4.2.3. Arquitetura e desenvolvimento do sensor S2

O sensor S2, por sua vez, propôs a comunicação em nuvem para a transmissão de dados entre sensor e usuário. A Figura 12 apresenta a arquitetura de desenvolvimento do dispositivo, que incluiu a configuração de um webserver para transmissão e registro dos dados.

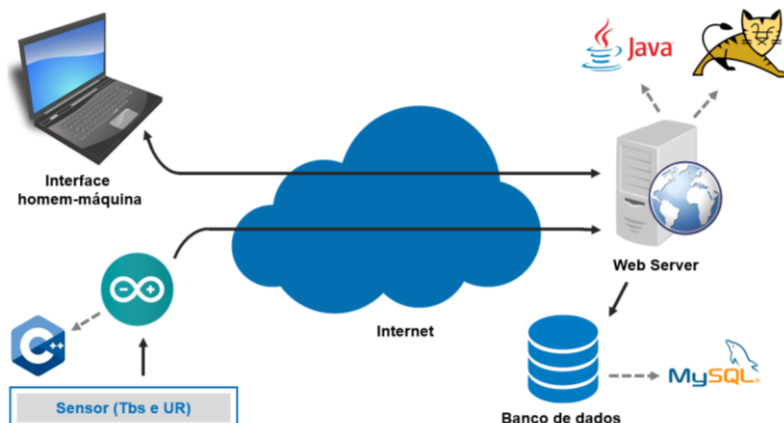


Figura 12. Arquitetura do sensor S2: componentes integrados (setas contínuas) e suas respectivas ferramentas de programação (setas pontilhadas).

O DHT11, nas mesmas especificações do modelo alocado no S1, também foi utilizado para a coleta de dados de Tbs e UR, sendo acoplado em uma placa Arduino® modelo NodeMCU ESP8266. Esse microprocessador possui integração direta a módulo de comunicação WiFi ESP8266, com antena embutida, além de possuir 11 portas GPIO e conector micro-usb para carregamento de energia. Um leitor LCD, nas mesmas propriedades do S1, foi adicionado no hardware. A programação também foi traduzida na linguagem C++ no Arduino IDE e uma caixa de acrílico foi projetada para a proteção dos equipamentos, com saídas para o cabo de energia, o leitor LCD e o sensor DHT11. A Figura 13 apresenta o esquema de montagem e o sensor S2 elaborado.

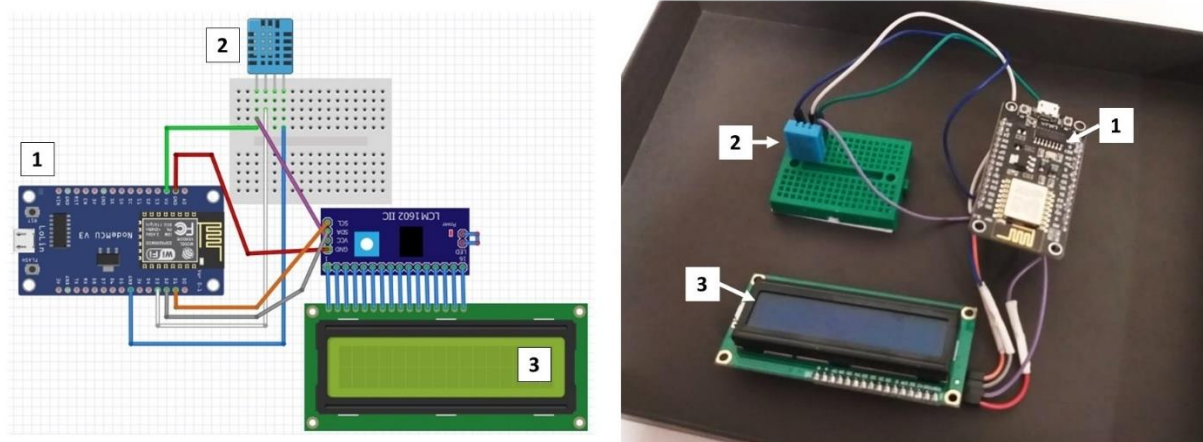


Figura 13. Sensor S2 para medição do NET de animais de produção: (A) esquema de montagem e (B) sensor desenvolvido. Legenda: 1 - NodeMCU ESP8266; 2 – DHT11; 3 – Display LCD.

Os dados obtidos do sensor foram transmitidos via internet para um provedor de serviços em nuvem, utilizando o módulo WiFi do microprocessador. Foi necessário, portanto, a criação de um banco de dados, por meio de um modelo de bases de dados relacionais, o que melhor se adequou às necessidades deste estudo, seguindo os critérios de construção de banco de dados apresentados por Silberschatz et al. (2012). No desenvolvimento do banco de dados, foi utilizado a plataforma livre e de código aberto phpMyAdmin, que propõe o gerenciamento via internet do MySQL®, que é um SGBD (sistema de gerenciamento de banco de dados) que opera com a linguagem SQL (Structured Query Language).

O banco de dados foi integrado a um provedor de serviços em nuvem, sendo adotado neste trabalho a SaveinCloud. O ambiente de hospedagem escolhido se configurou enquanto uma PaaS – plataforma como serviço – combinada a uma Caas – contêiner como serviço. Na criação do ambiente, foi utilizada a linguagem de programação Java, através da plataforma de código aberto Apache TomCat na versão 9.

Posteriormente, os dados presentes na nuvem foram descarregados no Microsoft Excel para sua manipulação, atuando como uma interface homem-máquina. Para isso, foi criada uma macro utilizando o módulo VBA do Excel, adicionando como comandos a determinação do animal/fase de criação, cálculo da h, determinação da NET e do D, conforme processamento proposto no item 2.1.

4.2.3. Calibração e validação

A calibração dos sensores S1 e S2 seguiu a metodologia adaptada de Fernandes (2015) e Cavaliere et al. (2018). Os dados de entrada (Tbs e UR) – coletadas pelos dispositivos DHT11 presentes no sensor S1 e S2 – foram comparados com um equipamento comercial, calibrado de fábrica. O dispositivo utilizado para a comparação foi um datalogger HOBO, modelo U12-012, da marca Onset, que lê e armazena dados de Tbs e UR em um intervalo de no mínimo 1 segundo. O sensor comercial possui acurácia de $\pm 0,35^{\circ}\text{C}$ e amplitude de -20 a 70°C para Tbs e acurácia de $\pm 2,5\%$ e amplitude de 5 a 95% para a UR.

Os ensaios ocorreram em ambiente laboratorial fechado, durante 24 horas de avaliação, com um intervalo de coleta a cada 5 segundos. Foram totalizados, dessa forma, 17.280 registros de Tbs e UR pelos sensores.

Como método descritivo para a avaliação estatística dos sensores em relação ao modelo de referência, foi utilizado a análise de regressão. No ajuste das curvas, foram testados os modelos: linear simples; linear robusta pelo método de Bisquare; quadrático, sendo o polinomial de 2º grau; e o cúbico, sendo o polinomial de 3º grau. De cada um dos modelos, foram extraídos o coeficiente de determinação (R^2), o erro médio (EM), a raiz quadrada do erro-médio (RQEM), a soma dos quadrados de regressão (SQR), a soma dos quadrados dos erros (SQE) e a soma dos quadrados total (SQT), para a Tbs e para a UR. Os ensaios foram rodados em ambiente MATLAB®.

Posteriormente, foi conduzido a validação em campo, enquanto um ambiente não controlado. Para isso, os sensores foram alocados no centro geométrico de uma instalação em escala reduzida distorcida para frangos de corte, com 4,02 m de comprimento, 1,2 m de largura e 1,5 m de pé-direito. A estrutura foi composta por alvenaria de tijolos com aberturas laterais de tela metálica, e a cobertura foi de telhas galvanizadas. O experimento foi conduzido durante um período de 6 horas (das 09h00 até as 17h00) de um dia de sol, sem nuvens. Os dados, depois do ajuste de calibração, foram avaliados descritivamente utilizando a média, o desvio padrão e a amplitude do conjunto.

4.2.4. Avaliação técnica

Os sensores S1 e S2 também foram analisados de acordo com suas potencialidades e limitações técnicas. Inicialmente foi apresentado uma avaliação de custo dos componentes utilizados no desenvolvimento dos sensores, sendo este um recurso bastante utilizado na avaliação técnica de sensores para Arduino® (Fuentes et al., 2014; Ali et al., 2016; Lockridge et al., 2016). Posteriormente, os sensores também foram avaliados de acordo com suas vantagens e desvantagens técnicas, considerando suas propriedades físicas, características de processamento, capacidade e uso e funcionalidade.

4.3. Resultados e discussão

4.3.1. Processamento lógico x arquitetura dos sensores

Os dois dispositivos desenvolvidos neste trabalho obtiveram sucesso em incorporar a lógica de processamento apresentada no item 2.1, coletando as variáveis microclimáticas (por meio da incorporação dos sensores) e retornando o nível de estresse térmico dos animais e o diagnóstico do problema no ambiente. Embora ambos os sensores partissem de uma mesma estrutura lógica, houve divergências nas etapas de execução devido as diferentes arquiteturas propostas. Tais resultados são exemplificados no diagrama de fluxo dos dois dispositivos (Figura 14).

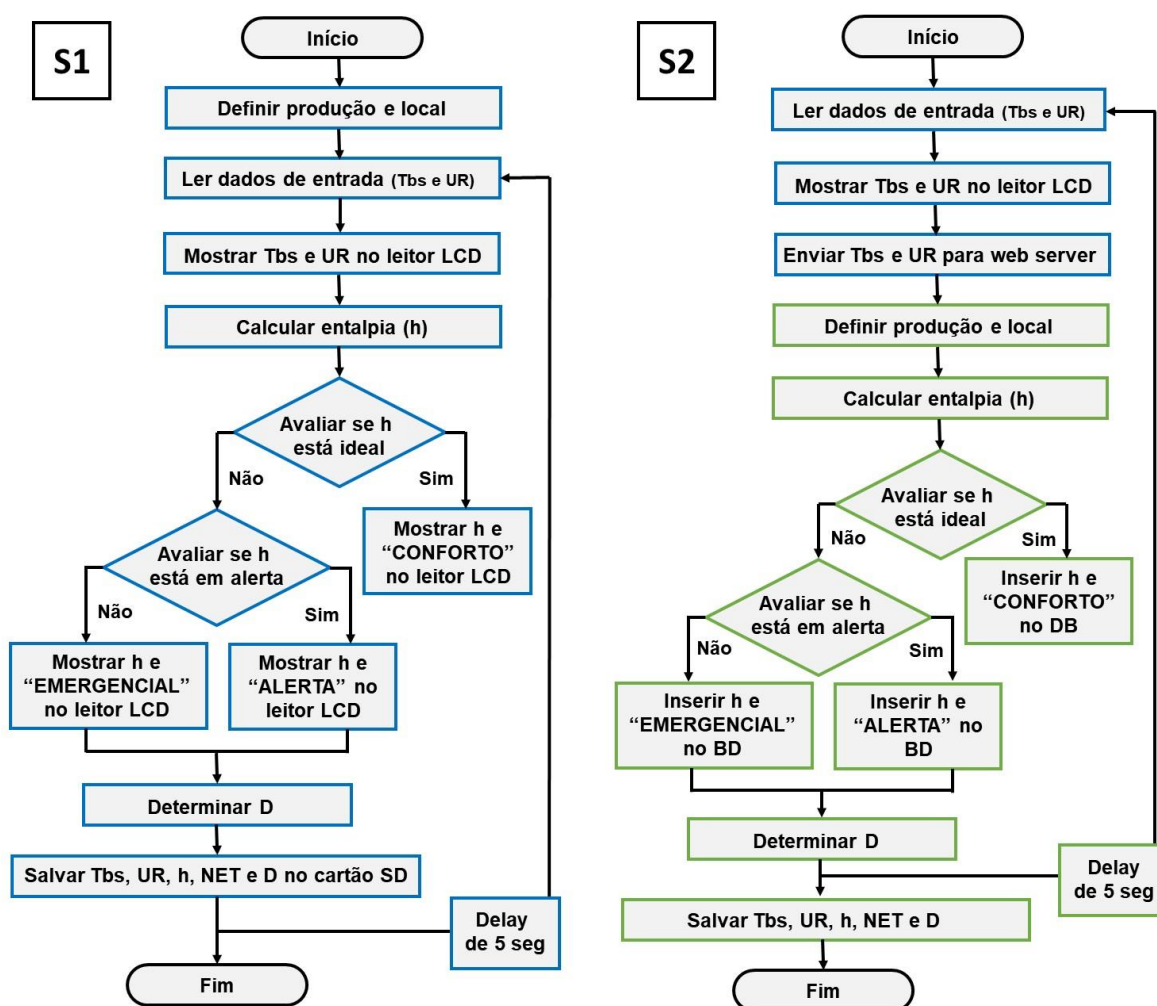


Figura 14. Diagramas de fluxo dos sensores: blocos em azul representam o processamento no próprio sensor; blocos em verde indicam processamento fora do sensor.

Para o sensor S1, toda a lógica de processamento – considerando as entradas e as saídas - foi inserida na programação interna de funcionamento do Arduino® (blocos azuis da Figura 14). Neste caso, inicialmente foi necessário estabelecer a espécie/fase de criação, para ajustar os parâmetros de referência para Tbs, UR e h, partindo, depois, para a coleta das variáveis microclimáticas e do cálculo da entalpia. Para a determinação do NET, foi utilizado um conjunto de regras SE-SENÃO. A leitura dos dados (entrada) até o oferecimento do NET e D (saída) seguiu em um loop com um delay de 5 segundos. O display LCD, que permitiu duas linhas de informação por vez, mostrou a Tbs e UR, que são limpas da tela para posteriormente mostrar a h e o NET.

Já o sensor S2, por sua vez, permitiu realizar o processamento fora do ambiente Arduino®, conforme destaca os blocos verdes da Figura 14. Nesse sentido, as ações exigidas do dispositivo foram coletar a Tbs e a UR, apresentar tais valores no display LCD e enviar os dados para o banco de dados, via WiFi. A Tbs e a UR, armazenadas no banco de dados, foram utilizadas para o cálculo da entalpia e determinação da NET e do D, utilizando comandos SE-SENÃO similares ao apresentado no sensor S1. Para simplificar o sistema elaborado, não foi incluso um comando para retornar h e NET para o S2, sendo apresentado como leitura no display LCD do sensor somente as variáveis microclimáticas coletadas.

Como resultados do desenvolvimento dos equipamentos, cada sensor apresentou dois formatos de leitura dos dados. O primeiro deles foi a leitura no próprio sensor, similar em ambos, representado pelas telas LCD (Figura 15A e 15C). Tal representação é importante, pois permite o acompanhamento em tempo real das propriedades microclimáticas da instalação produtiva, o que consequentemente auxilia nas tomadas de decisão por usuários em contato direto com o ambiente monitorado.



Figura 15. Ferramentas de leitura de dados do S1: no sensor (A) e no Excel (B); e do S2: no sensor (C) e nas planilhas em nuvem e Excel (D).

O segundo formato de leitura resultou no conjunto de dados tabelados, ao longo do tempo (Figura 15B e 15D). O sensor S1 foi programado para armazenar os dados, pelo cartão de memória, em um arquivo .xls, compatível com o software Microsoft Excel. Santos et al. (2017), ao abordarem diferentes formas de coleta e armazenagens de dados, destacaram que a função datalogger – como é o caso do S1 – é bastante recomendada para a exploração de um maior volume de dados em um curto espaço de tempo, além de descartar (ou minimizar) possíveis erros humanos de leitura. Já os dados do sensor S2 passaram por duas etapas de visualização, sendo a primeira na interface da plataforma de hospedagem em nuvem, contendo os dados de Tbs e UR e, posteriormente, em uma planilha Excel, com os resultados do processamento da Macro.

4.3.2. Calibração em laboratório

Valores de temperatura de bulbo seco e a umidade relativa coletados dos componentes DHT11 - adicionados dos sensores S1 e S2 - foram comparados com os do sensor de referência. A distribuição dos dados, pelo gráfico de dispersão, é apresentada na Figura 16.

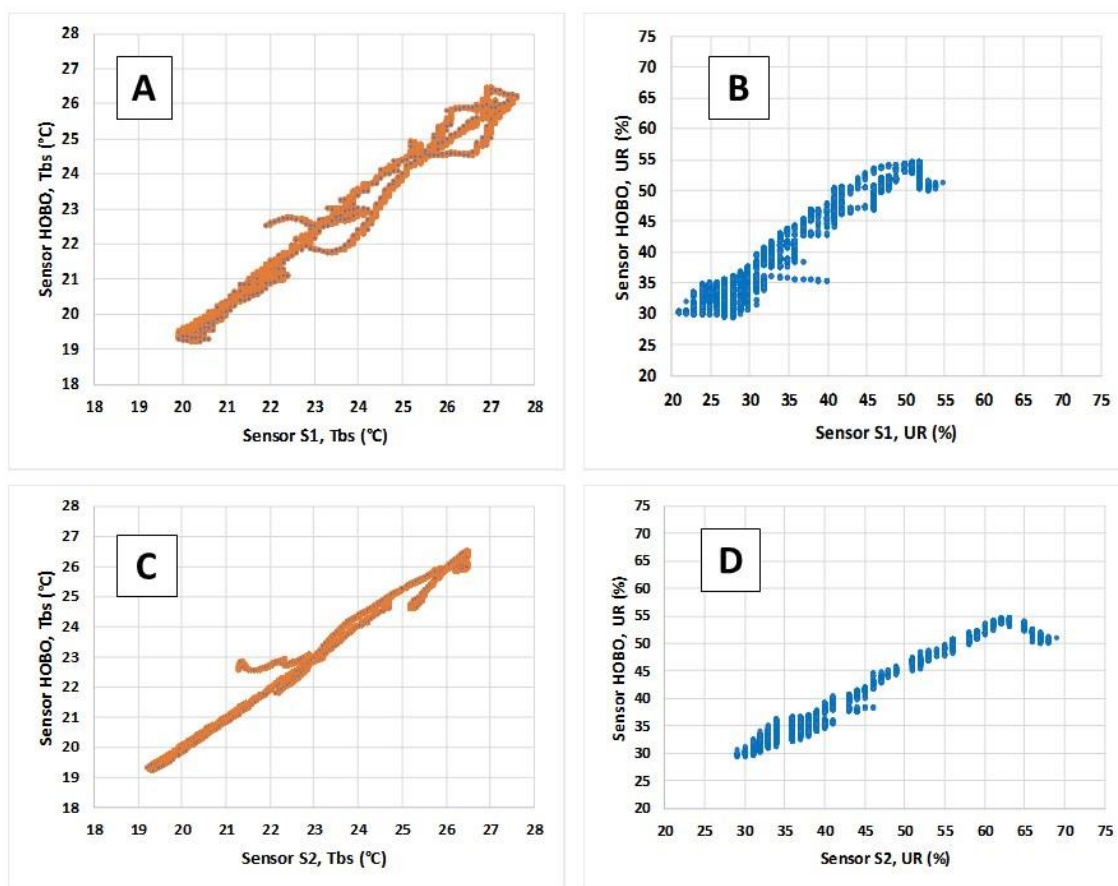


Figura 16. Gráficos de dispersão para S1: temperatura de bulbo seco (A) e umidade relativa (B) e para S2: temperatura de bulbo seco (C) e umidade relativa (D). Período total de observação: 24 horas.

O comportamento da dispersão dos dados de Tbs é melhor compreendido utilizando os métodos de regressão, como mostra a Tabela 12. Sensores mais exatos, de acordo com Cunha e Martins (2004), apresentam alto coeficiente de determinação e baixo erro médio. Neste trabalho, a Tbs coletada para S1 apresentou melhores resultados estatísticos utilizando o modelo cúbico, com coeficiente de determinação de 0,9855 e erro médio de 0,0641. Entretanto, os modelos não diferenciaram drasticamente entre si, com R^2 variando entre 0,0009 entre o modelo cubico (de melhor desempenho) e o linear (de pior desempenho). Já para S2, o melhor resultado foi pelo modelo linear robusto, com $R^2=0,9970$ (de melhor desempenho) e erro médio de 0,0144 (de pior desempenho). A variação de R^2 foi de 0,0111, entre o linear robusto e o linear.

Tabela 12. Métodos de regressão para a calibração da temperatura de bulbo seco (N=17280)

Modelo de regressão	S	R ²	EM (°C)	RQEM (°C)	SQR (°C) ²	SQE (°C) ²	SQT (°C) ²
Linear							
Linear	S1	0,9846	0,0672	0,2593	74051,0	1161,4	75212,0
	S2	0,9859	0,0669	0,2587	74056,0	1156,3	75512,0
Linear robusta	S1	0,9874	0,0552	0,2350	74796,0	957,6	75753,0
	S2	0,9970	0,0144	0,1200	79581,0	247,93	79829,0
Não-linear							
Quadrático	S1	0,9854	0,0645	0,2540	75212,0	1115,0	76327,0
	S2	0,9868	0,0584	0,2418	75212,0	1009,9	76222,0
Cúbico	S1	0,9855	0,0641	0,2533	75212,0	1108,7	76321,0
	S2	0,9871	0,0566	0,2381	75212,0	980,02	76192,0

Comparando os sensores desenvolvidos, S2 se aproximou mais das leituras do sensor comercial. Entretanto, ambos os dispositivos estão consoantes com os resultados de Santos et al. (2019), que ao calibrar sensores de temperatura DTH22 com sensores comerciais de referência chegaram a um coeficiente de determinação de 0,9972, utilizando um modelo de regressão linear.

Baseado nos resultados das curvas de ajuste, este trabalho propõe a equação 7 como correção dos valores de Tbs de S1 e a equação 8 para a correção dos valores de Tbs de S2. As equações de ajuste foram posteriormente inseridas na programação dos dispositivos.

$$Tbs_c = -0,0025Tbs_{S1}^3 + 0,1651 Tbs_{S1}^2 - 2,6474Tbs_{S1} + 26,155 \text{ (Equação 7)}$$

$$Tbs_c = 1,0157S_{S2} - 0,44373 \text{ (Equação 8)}$$

Em que:

Tbs_c = valor de temperatura de bulbo seco corrigido, °C

Tbs_{S1} = valor de temperatura de bulbo seco do sensor S1, °C

Tbs_{S2} = valor de temperatura de bulbo seco do sensor S2, °C

A Tabela 13 apresenta os resultados da calibração para a umidade relativa. Ambos os sensores apresentaram melhores resultados utilizando o modelo cúbico, onde o coeficiente de determinação de S1 foi 0,9684 e de S2 foi de 0,9843.

Comparando-os, S2 apresentou maior R^2 , característica semelhante para Tbs. A variação entre os modelos para S1 foi de 0,0071 (entre o modelo cúbico e o linear) e para S2 foi de 0,0110 (entre o modelo cúbico e o linear). O erro médio, foi sua vez, foi menor com o modelo linear robusto para S1 (1,9881) e cúbico para S2 (0,9826).

Tabela 13. Métodos de regressão para a calibração da umidade relativa (N=17280)

Modelo de regressão	S	R^2	EM (%)	RQEM (%)	SQR (%) ²	SQE (%) ²	SQT (%) ²
Linear							
Linear	S1	0,9613	2,4818	1,5753	1066200	42881	1066200
	S2	0,9733	1,6954	1,3020	1066200	29293	1095500
Linear robusta	S1	0,9680	1,9881	1,4100	1029000	34558	1063500
	S2	0,9820	1,2100	1,1000	1129700	20988	1150700
Não-linear							
Quadrático	S1	0,9617	2,4595	1,5683	1066200	42503	1108700
	S2	0,9749	1,5943	1,2615	1066200	27499	1093700
Cúbico	S1	0,9684	2,0124	1,4186	1066200	34772	1100900
	S2	0,9843	0,9826	0,9913	1066200	16979	1083100

Considerando a umidade relativa, Santos et al. (2019) obtiveram um R^2 de 0,9976, utilizando a regressão linear, maior que os resultados obtidos neste trabalho. Assim como feito para a Tbs, este trabalho utilizou a equação 9 como correção dos valores de UR de S1 e a equação 10 para a correção dos valores de UR de S2. As equações de ajuste também foram adicionadas na programação original.

$$UR_c = -0,0012UR_{S1}^3 + 0,1331UR_{S1}^2 - 3,7488UR_{S1} + 61,781 \text{ (Equação 9)}$$

$$UR_c = -0,0008UR_{S2}^3 + 0,1114UR_{S2}^2 - 4,1276UR_{S2} + 76,32 \text{ (Equação 10)}$$

Em que:

UR_c = valor de umidade relativa corrigido, %

UR_{S1} = valor de umidade relativa do sensor S1, %

UR_{S2} = valor de umidade relativa do sensor S2, %

Cunha e Martins (2004) sugerem que, para comparação entre sensores, é importante a obtenção de coeficientes de determinação acima de 0,90, o que garante que os dados coletados por ambos os dispositivos possuam alta

concordância. Todos os métodos aplicados, tanto para Tbs quanto para UR, apresentaram resultados satisfatórios.

Entretanto, quando se trata do processo de calibração, é importante destacar que cada dispositivo sensor é único. Neste caso, conforme enfatizam Dias Neto et al. (2016), as curvas de ajuste devem ser consideradas no processo de calibração de um único sensor, variando entre sensores de acordo com as propriedades eletrônicas e microeletrônicas dos componentes que os compõem. Ademais, os sensores necessitam ser recalibrados ao longo do seu tempo de uso, já que erros de leitura podem ser recorrentes pela deterioração dos equipamentos.

3.2. Validação em campo

A Tabela 14 apresenta a performance dos sensores aplicados no aviário em escala reduzida-distorcida.

Tabela 14. Estatística descritiva comparativa na validação dos sensores

Variável	Sensor	Média	Desvio padrão	Amplitude
Tbs (°C)	Hobo	32,86	2,16	27,55 – 35,26
	S1 calibrado	32,99	2,17	26,52 – 35,60
	S2 calibrado	31,83	2,04	26,53 – 34,77
UR (%)	Hobo	46,93	6,81	36,89 – 64,22
	S1 calibrado	43,78	7,16	33,00 – 73,20
	S2 calibrado	52,52	4,44	41,47 – 59,23

A média bruta da temperatura de bulbo seco ao longo do dia foi similar para todos os sensores: a diferença da média entre o S1 calibrado e o HOBO foi de 0,13°C e a diferença da média entre o S2 calibrado e o HOBO foi 1,03°C. Entre os sensores, S1 obteve maior amplitude dos seus dados, de 9,08°C, enquanto S2 foi de 8,24°C e o modelo comercial foi de 7,71°C.

Já para a umidade relativa, houve maior diferença das médias brutas quando comparada com a Tbs. Entre o Hobo e S1 calibrado, a diferença foi de 3,15%, enquanto Hobo e S2 calibrado apresentou diferença de 5,59%. Semelhante para Tbs, S1 coletou dados de maior amplitude, com 40,20%, registrando o menor e

o maior valor coletado, enquanto S2 apresentou amplitude de 17,76% e o HOBO de 27,63%.

A UR, portanto, possui maior variação e é menos preciso que a Tbs. Contudo, em uma experiência em ambiente aberto, ambos os sensores medidores de Tbs e UR (DHT11) apresentaram uma calibração eficiente e própria para o uso, sendo assim validados para aplicação nos dispositivos de diagnóstico no conforto térmico.

3.3. Desempenho técnico

Somado ao método de funcionamento e às propriedades intrínsecas dos sensores de Tbs e UR utilizados, os sensores apresentados neste trabalho também podem ser comparados de acordo com suas qualidades técnicas e adaptabilidade à realidade de uso. Enquanto uma primeira qualidade técnica, a Tabela 15 apresenta o orçamento dos componentes para a montagem dos sensores desenvolvidos.

Tabela 15. Orçamento dos componentes dos sensores

S	Componente	Quantidade	Valor unitário (R\$)	Custo (R\$)	Custo (\$)*
S1	Placa Arduino UNO R3	1	54,90	54,90	13,76
	Protoboard 830 pontos	1	15,90	15,90	3,99
	Cabos jumper	4 pacotes	5,00	20,00	5,01
	Sensor DHT11	1	13,90	13,90	3,48
	Módulo RTC DS3231	1	17,90	17,90	4,49
	Display LCD	1	16,90	16,90	4,24
	Potenciômetro	1	2,00	2,00	0,50
	Modulo cartão SD mini	1	12,00	12,00	3,01
TOTAL				153,50	38,48
S2	NodeMCU ESP8266	1	42,90	42,90	12,26
	Protoboard 170 pontos	1	7,90	7,90	1,98
	Cabos jumper	1 pacote	5,00	5,00	1,25
	Sensor DHT11	1	13,90	13,90	3,48
	Display LCD	1	16,90	16,90	4,24
TOTAL				86,60	21,71

* Cotação do dólar americano do dia 03 de novembro de 2019

Para ambos os sensores, o componente mais caro foi a placa de processamento, onde o Arduino UNO representou cerca de 35% do custo total do sensor S1 e o NodeMCU representou cerca da metade do custo total do sensor S2. Ao empregar mais componentes, o S1 apresentou um orçamento mais caro quando comparado ao sensor S2, totalizando um investimento de R\$ 66,90 (56,42%) a mais.

O custo dos dispositivos está consoante com outros trabalhos que utilizaram o Arduino® para a coleta de variáveis microclimáticas. Tomé et al. (2019) investiram R\$ 162,80 para o sensoramento da Tbs e UR de silos de grão; Oliveira Junior (2016) obteve um custo total de R\$ 107,00 em um sensor para o monitoramento da Tbs, UR e temperatura de globo negro em instalações rurais; enquanto Borges et al. (2018) desenvolveram um sensor para o monitoramento do ambiente de baias para suínos, com um investimento de R\$ 310,00.

Conforme também destacado pelos autores supracitados, os dispositivos confeccionados em plataforma Arduino® representam alternativas para um sensoramento de baixo custo, quando comparados à modelos comerciais de data-loggers para coleta e armazenamento de dados de Tbs e UR encontrados no mercado.

Além do custo, este trabalho discute as características técnicas que aproximam ou diferenciam S1 e S2, sumarizadas na Tabela 16. Quando se comparou as características físicas dos sensores, S1 foi aproximadamente 4,5 vezes maior que S2, sendo também 110,72 g mais pesado. Quando confrontados ao modelo HOBO utilizado como referência – que pesa 46 g e possui 6 x 7 x 2 cm de dimensão – ambos os dispositivos são mais pesados e maiores. Tal característica ocorre porque os sensores desenvolvidos são compostos por módulos (componentes) individuais, que são somados ainda ao conjunto de cabos conectores, que ocupam espaço. De modo prático, os sensores para coleta de dados microclimáticos geralmente ficam suspensos no centro geométrico das instalações zootécnicas, o que indica que sensores mais leves, como o S2, possuem melhor qualidade prática.

Tabela 16. Propriedades técnicas dos sensores

Características	Sensor S1	Sensor S2
Propriedades físicas		
Dimensões (cm)	17 x 8 x 10	10 x 10 x 3
Volume (cm ³)	1360	300
Peso (g)	173,05	62,33
Fonte de alimentação	Rede elétrica / power bank	Rede elétrica / power bank
Propriedades do processamento		
Processamento embutido	Sim	Sim
Local do processamento	No sensor	Na nuvem
Propriedades de uso das placas		
Quantidade de portas utilizadas	13	4
Quantidade de portas ociosas	7	7
Utilização da placa (%)	65,00%	36,36%
Funcionabilidade		
Leitura no dispositivo	Sim	Sim
Armazenamento dos dados	Sim	Sim
Monitoramento à distância	Não	Sim
Capacidade de armazenagem (kB/dia)	830	Não se aplica

Ambos os sensores possuem o processamento automático do diagnóstico do NET embutido em sua programação, relevando-se ambos de grande caráter inovativo. Vale destacar que, comercialmente, não há sensores que indiquem diretamente o estresse térmico dos animais, e os procedimentos para tal fim partem de valores coletados dos mais diversos tipos de sensores de Tbs e UR e realizam o processamento (cálculos e interpretações) manualmente. A diferença entre os dois dispositivos está no local do processamento, conforme discutido mais detalhadamente no item 3.1.

A avaliação de uso das placas de microprocessamento possuiu o intuito de investigar como os componentes dos sensores exigiram da operacionalidade dos microprocessadores. Embora S1 exija uma maior quantidade de portas, por conter mais componentes, ambos os dispositivos possuem a mesma quantidade de portas ociosas. Tal característica indica que os microprocessadores estão subutilizados, por apresentarem uma maior capacidade de uso.

Por fim, as propriedades relacionadas a funcionalidade dos sensores indicam que ambos os dispositivos permitem a leitura no próprio sensor e conseguem armazenar dados ao longo do tempo. Tal propriedade é importante, pois muitos aparelhos dataloggers não possuem leitores, permitindo a visualização dos dados somente após o descarregamento. Ademais, ao utilizar tais dispositivos, não é possível identificar erros de leitura durante o processamento, havendo risco de perda de dados.

Comparando os dois sensores, S2 tem a vantagem de permitir o monitoramento a distância e em tempo real, o que é desejado nas atuais recomendações para dispositivos nas fazendas 4.0. Mesmo sem esta propriedade, S1 apresentou boa funcionalidade ao exigir pouca capacidade de armazenagem: com um cartão de memória de 4GB, é possível acumular dados (a cada 5 segundos) de pouco mais de 13 anos.

Frente às características técnicas dos sensores, é possível pontuar algumas limitações e possíveis melhorias. Primeiramente, futuras investigações em eletrônica podem desenvolver microprocessadores específicos para as funcionalidades aqui exigidas, sem ociosidade de portas e aparatos computacionais. Dessa forma, será possível obter sensores menores, mais leves e melhor dimensionados, aproximando-os daqueles desenvolvidos em escala comercial. Outrossim, maior atenção pode ser dada para as fontes de alimentação, tornando os sensores independentes da rede elétrica a partir do uso de baterias e até mesmo fontes renováveis, que já é aplicado a outros dispositivos Arduino® (Kaur et al., 2016).

Todavia, os modelos apresentados neste trabalho – mesmo provenientes de uma investigação em suas etapas iniciais – já apresentam custo baixo e boas qualidades técnicas. S1 e S2 apresentam baixo custo de desenvolvimento e obtêm como benefício central a oferta de uma lógica de processamento nova e complexa aplicada no retorno imediato do diagnóstico do conforto térmico dos animais. Por consequência, ambos os sensores possibilitam tomadas de decisão mais rápidas e com menor possibilidade de erro.

4.4. Conclusões

Este trabalho foi uma das primeiras tentativas de elaborar sensores que explorem as relações psicrométricas do ar no diagnóstico do conforto térmico dos

animais de produção. Enquanto uma avaliação convencional utilize sensores analógicos ou digitais de temperatura do ar e umidade relativa, para posterior cálculo manual dos índices e determinação do nível de estresse térmico, os dispositivos desenvolvidos neste trabalho permitiram obter o nível de estresse térmico direta, automaticamente e em tempo real. Ademais, além de indicar a situação de estresse, os sensores possibilitaram a sugestão de ações por meio de um diagnóstico do ambiente, facilitando a tomada de decisão dos usuários. Dessa maneira, os sensores desenvolvidos atenderam às expectativas deste estudo, aplicando eficazmente a lógica de processamento; estabelecendo resultados de calibração com alto coeficiente de determinação; e atingindo bons índices de custo-benefício, com destaque para o sensor S2. Modificações ainda podem ser exploradas para melhorar algumas qualidades técnicas dos sensores, que possui alto potencial para exploração comercial.

Financiamento: Este estudo foi financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Referências

- Ali, A. S.; Zanzinger, Z.; Debose, D.; Stephens, B., 2016. Open Source Building Science Sensors (OSBSS): A low-cost Arduino-based platform for long-term indoor environmental data collection. *Building and Environment*, 100, 114-126. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.02.010>
- Allen, R. G.; Pereira, L. S., Raes, D.; Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome.
- Aziz, Z.; Varma, G. G.; Raji, K.; Gleeja, V. L., 2016. Influence of temperature humidity index on the physiological parameters and growth rate of crossbred cattle calves. *International Journal of Applied and Pure Science and Agriculture*, 2, 187-190.
- Balvís, E.; Sampedro, Ó.; Zaragoza, S.; Paredes, A.; Michinel, H., 2016. A simple model for automatic analysis and diagnosis of environmental thermal comfort in energy efficient buildings. *Applied energy*, 177, 60-70. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.04.117>
- Belhadj Slimen, I.; Najar, T.; Ghram, A.; Abdrabba, M., 2016. Heat stress effects on livestock: molecular, cellular and metabolic aspects, a review. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 100(3), 401-412. <https://doi.org/10.1111/jpn.12379>

Beltrán-Prieto, J. C.; Beltrán-Prieto, L. A.; Nguyen, L. H. B. S, 2015. Estimation of psychrometric parameters of vapor water mixtures in air. *Computer Applications in Engineering Education*, 24, 39-43. <https://doi.org/10.1002/cae.21670>

Borges, P. H. M.; Mendoza, Z. M. D. S. H.; Morais, P. H. M.; Santos, R. L., 2018. Sistema Automatizado de Baixo Custo para Produtores Rurais: controle e monitoramento do ambiente térmico na suinocultura. *Revista Eletrônica Competências Digitais para Agricultura Familiar*, 4(2), 177-199.

Britto, J. F. B, 2010. Considerações sobre psicrometria. *Revista SBCCv*. 45, 35-41.

Cavaliere, A.; Carotenuto, F.; Di Gennaro, F.; Gioli, B.; Gualtieri, G.; Martelli, F.; ... & Zaldei, A., 2018. Development of Low-Cost Air Quality Stations for Next Generation Monitoring Networks: Calibration and Validation of PM_{2.5} and PM₁₀ Sensors. *Sensors*, 18(9), 2843. <https://doi.org/10.3390/s18092843>

Chu C. M.; Jong T. L, 2008. Enthalpy estimation for thermal comfort and energy saving in air conditioning system. *Energy Conversion and Management*, 49, 1620-1628. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2007.12.012>

Collier, R. J.; Renquist, B. J.; Xiao, Y., 2017. A 100-Year Review: Stress physiology including heat stress. *Journal of dairy science*, 100(12), 10367-10380. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13676>

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

Curtis, A. K.; Scharf, B.; Eichen, P. A.; Spiers, D. E., 2017. Relationships between ambient conditions, thermal status, and feed intake of cattle during summer heat stress with access to shade. *Journal of thermal biology*, 63, 104-111. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2016.11.015>

D'Ausilio, A. 2012. Arduino: A low-cost multipurpose lab equipment. *Behavior Research Methods*, 44, 305-313. <http://dx.doi.org/10.3758/s13428-011-0163-z>

Das, R.; Sailo, L.; Verma, N.; Bharti, P.; Saikia, J., 2016. Impact of heat stress on health and performance of dairy animals: A review. *Veterinary world*, 9(3), 260-268. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2016.260-268>

Dias Neto, J.; Thomaz Júnior, J. C.; Urbano Neto, D. F., 2016. Método de ajuste matemático para validação de dados de sensores de radiação de onda longa. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 31 (1), 37 – 44. <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778620140022>

Fernandes, M.F.M.V., 2015. Desenvolvimento de um Sistema Remoto de Monitorização e Análise de Qualidade do Ambiente Interior em Edifícios. Dissertação de Mestrado. Universidade de Lisboa - Faculdade de Ciências e Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia, 132.

Fernandez, M. V. S.; Stoakes, S. K.; Abuajamieh, M.; Seibert, J. T.; Johnson, J. S.; Horst, E. A.; Rhoads, R. P.; Baumgard, L. H., 2015. Heat stress increases insulin sensitivity in pigs. *Physiological reports*, 3(8), e12478. <https://doi.org/10.14814/phy2.12478>

Fuentes, M.; Vivar, M.; Burgos, J. M.; Aguilera, J.; Vacas, J. A., 2014. Design of an accurate, low-cost autonomous data logger for PV system monitoring using Arduino™ that complies with IEC standards. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 130, 529-543. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2014.08.008>

Haugen, A. J.; Moore, N.T, 2014. A model for including Arduino microcontroller programming in the introductory physics lab. *ArXiv:1407.7613*, 1, 1-11.

He, J.; Zheng, W.; Lu, M.; Yang, X.; Xue, Y.; Yao, W., 2019. A controlled heat stress during late gestation affects thermoregulation, productive performance, and metabolite profiles of primiparous sow. *Journal of Thermal Biology*, 81, 33-40. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12651>

Heidari, H.; Golbabaie, F.; Shamsipour, A.; Rahimi Forushani, A.; Gaeini, A., 2016. Determination of air enthalpy based on meteorological data as an indicator for heat stress assessment in occupational outdoor environments, a field study in Iran. *Journal of Research in Health Sciences*, 16, 133-140.

Heidari, H.; Rahimifard, H.; Mohammadbeigi, A.; Golbabaie, F.; Sahranavard, R.; Shokri, Z., 2018. Validation of air enthalpy in evaluation of heat stress using wet bulb globe temperature (WBGT) and body core temperature: A case study in a hot and dry climate. *Health and Safety at Work*, 8, 81-92.

Henry, B.; Charmley, E.; Eckard, R.; Gaughan, J. B.; Hegarty, R., 2012. Livestock production in a changing climate: adaptation and mitigation research in Australia. *Crop and Pasture Science*, 63, 191–202. <https://doi.org/10.1071/CP11169>

Herbut, P.; Angrecka, S.; Walczak, J., 2018. Environmental parameters to assessing of heat stress in dairy cattle - a review. *International Journal of Biometeorology*, 62(12), 2089-2097. <https://doi.org/10.1007/s00484-018-1629-9>

Kaur, T.; Gambhir, J.; Kumar, S., 2016. Arduino based solar powered battery charging system for rural SHS. In 2016 7th India International Conference on Power Electronics (IICPE), 1-5, IEEE.

Krishnan, G.; Bagath, M.; Pragna, P.; Vidya, M. K.; Aleena, J.; Archana, P. R., ... & Bhatta, R., 2017. Mitigation of the heat stress impact in livestock reproduction. *Theriogenology*, 4, 63-86. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.69091>

Kunjumon, S.; Pinto, K.; Saldanha, J., 2016. Temperature and humidity monitoring and alert management system. *International Journal of Engineering Research and General Science*, 4(4), 349-351.

Lockridge, G.; Dzwonkowski, B.; Nelson, R.; Powers, S., 2016. Development of a low-cost arduino-based sonde for coastal applications. *Sensors*, 16(4), 528. <https://doi.org/10.3390/s16040528>

Nogueira, G.; Ajmone-Marsan, P.; Milanese, M.; Zavarez, L.; Aguiar, T. S.; Sandre, D.; ... & Lima, J. C. P., 2016. Understanding behavior patterns of cattle adaptation to heat stress. *Journal of Animal Science*, 94(5), 619-619. <https://doi.org/10.2527/jam2016-1283>

Nordlund, K. V.; Strassburg, P.; Bennett, T. B.; Oetzel, G. R.; Cook, N. B., 2019. Thermodynamics of standing and lying behavior in lactating dairy cows in freestall and parlor holding pens during conditions of heat stress. *Journal of dairy science*, 102(7), 6495-6507. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15891>

Nyoni, N. M. B.; Grab, S.; Archer, E. R., 2019. Heat stress and chickens: climate risk effects on rural poultry farming in low-income countries. *Climate and Development*, 11(1), 83-90. <https://doi.org/10.1080/17565529.2018.1442792>

Oliveira Junior, A. J., 2016. Dispositivo móvel para análise de conforto térmico e ambiência. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista - Faculdade de Ciências Agrônômicas, 92.

Oliveira Júnior, A. J.; Souza, S. R. L.; Cruz, V. F.; Vicentin, T. A.; Glavina, A. S. G., 2018. Development of an android APP to calculate thermal comfort indexes on animals and people. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 151, p. 175-184. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.05.014>

Quintão, L. C.; Cunha, A. F. D.; Bragança, L. J.; Coelho, K. S.; Nunes, M. F.; Saraiva, L. H. G., 2017. Evolution and factors influencing somatic cell count in raw milk from farms in Viçosa, state of Minas Gerais. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 39(4), 393-399. <http://dx.doi.org/10.4025/actascianimsci.v39i4.35364>

Ramirez, B. C.; Gao, Y.; Hoff, S. J.; Harmon, J. D., 2018. Thermal environment sensor array: Part 1 development and field performance assessment. *Biosystems Engineering*, 174, 329-340. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.08.002>

Rashamol, V. P.; Sejian, V.; Bagath, M.; Krishnan, G.; Archana, P. R.; Bhatta, R., 2018. Physiological adaptability of livestock to heat stress: an updated review. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology*, 6(3), 62-71.

Ribeiro, B. P. V. B.; Lanferdini, E.; Palencia, J. Y. P.; Lemes, M. A. G.; Abreu, M. L. T.; Cantarelli, V. S.; Ferreira, R. A., 2018. Heat negatively affects lactating swine: a meta-analysis. *Journal of Thermal Biology*, 74, 325-330. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2018.04.015>

Rodrigues, V. C.; Silva, I. J. O.; Vieira, F. M. C.; Nascimento, S. T., 2011. A correct enthalpy relationship as thermal comfort index for livestock. *International Journal of Biometeorology*, 55, 455-459. <https://doi.org/10.1007/s00484-010-0344-y>

Ross, J. W.; Hale, B. J.; Seibert, J. T.; Romoser, M. R.; Adur, M. K.; Keating, A. F.; Baumgard, L. H., 2017. Physiological mechanisms through which heat stress compromises reproduction in pigs. *Molecular reproduction and development*, 84(9), 934-945. <https://doi.org/10.1002/mrd.22859>.

Sadler, J. M.; Ames, D. P.; Khattar, R. A., 2016. Recipe for standards-based data sharing using open source software and low-cost electronics. *Journal of Hydroinformatics*, 18(2), 185-197. <https://doi.org/10.2166/hydro.2015.092>

Santos, R. C. S.; Batillani, M.; Favarim, A. P. C.; Cesca, R. S.; Monteiro, G. S.; Paula, M. O., 2019. Uso de transdutores em dispositivo para monitoramento e controle ambiental. In: Castro, J. O.; Moura, G. B.; Andrade E. T.; Lacerda, J. A.; Ferraz, P. F. P. F.; Yanagi Júnior, T. (Org.). *Anais II SIAPAS e VI SIMCRA*, 1ed. Lavras, 1, 505-514.

Santos, R. C. S.; Battilani, M.; Garcia, R. G.; Geisenhoff, L.; Jordan, R. A, 2014. Comparação entre sistemas de avaliação ambiental em galpões de galinhas poedeiras na região de Dourados MS. *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas*, 8, 183-190.

Sarnighausen, V. C. R, 2019. Estimation of thermal comfort indexes for production animals using multiple linear regression models. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology*, 7, 73-77. <http://dx.doi.org/10.31893/2318-1265jabb.v7n2p73-77>

Silberschatz, A.; Sundarshan, S.; Korth, H. F, 2012. Sistema de banco de dados. Elsevier Brasil, 6ª edição, 904.

Tomé, T. C. H.; Menezes, W. R.; Silva, R. C.; Coelho, N. O.; Carneiro, E. F. S.; Lima, José A. D., 2019. Sistema Automatizado de Controle e Monitoramento da Temperatura, Umidade Relativa do Ar e Nível de Grãos em Silos. In: Castro, J. O.; Moura, G. B.; Andrade E. T.; Lacerda, J. A.; Ferraz, P. F. P. F.; Yanagi Júnior, T. (Org.). *Anais II SIAPAS e VI SIMCRA*, 1ed. Lavras, 1, 156-164.

5. DESIGN E VALIDAÇÃO DE UM APLICATIVO MÓVEL PARA O DIAGNÓSTICO DO ESTRESSE TÉRMICO DE ANIMAIS DE PRODUÇÃO

SÉRGIO LUÍS DE CASTRO JÚNIOR^{*4}

*Autor correspondente

Núcleo de Pesquisa em Ambiência, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo (ESALQ/USP), Av. Pádua Dias, 11 Piracicaba/SP, Brasil, 13418-900, sergio.castro@usp.br

GLAUBER DA ROCHA BALTHAZAR

Instituto Federal de São Paulo (IFSP), campus Campinas, Av. Comendador Aladino Selmi, s/n, Campinas/SP, Brasil, 13069-901, glauverbalthazar@gmail.com

IRAN JOSÉ OLIVEIRA DA SILVA

Núcleo de Pesquisa em Ambiência, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo (ESALQ/USP), Av. Pádua Dias, 11 Piracicaba/SP, Brasil, 13418-900, iranoliveira@usp.br

Resumo

A comunidade científica tem avançado no desenvolvimento de métricas para diagnosticar o estresse térmico dos animais de produção. Em contrapartida, tais ferramentas ainda demandam expertise e tempo dos pesquisadores, além não serem, na maioria das vezes, acessíveis ao produtor rural. Nesse cenário, este trabalho tem o escopo de apresentar o desenvolvimento e a validação de um aplicativo para dispositivos móveis – intitulado de *Animalcomfort* – modelado em plataforma Android, para o monitoramento da situação de conforto térmico dos animais de produção. O processamento foi baseado no cálculo da entalpia específica do ar, obtendo como resultado a situação de conforto dos animais e o diagnóstico do ambiente. O aplicativo foi desenvolvido a partir de quatro funções principais, de diferentes fontes de dados de entrada, sendo: ambiente aberto (satélite), ambiente fechado (sensor Arduino®), cálculo manual e previsão para os próximos 7 dias (satélite). O software foi inicialmente projetado guiando-se sob a perspectiva do usuário, utilizando como documentação a notação UML e uma *storyboard* para o design das telas. O desenvolvimento do projeto foi conduzido seguindo a metodologia ágil Scrum, onde o aplicativo foi elaborado em plataforma Android e programado em linguagem Java. O produto resultante foi avaliado por potenciais usuários, revelando possuir características desejáveis de design, terminologia, aprendizagem e usabilidade. Como conclusão, o *Animalcomfort* representou uma ferramenta de alto potencial para a gestão rápida, fácil e acessível na identificação do conforto térmico dos animais, auxiliando diretamente nas tomadas de decisão de melhores alternativas de climatização dos ambientes produtivos.

Palavras-Chave: Android; Entalpia específica do ar; Usabilidade; Conforto térmico

⁴ Este capítulo está formatado para publicação na revista Computers and Electronics in Agriculture, seguindo suas normas de formatação.

Abstract

The scientific community has advanced in the development of metrics to diagnose the heat stress of livestock animals. In the other hand, such tools still require expertise and time from researchers, and are not, for the most part, accessible to farmers. In this scenario, this paper aims to present the development and validation of a mobile application - titled *Animalcomfort* - modeled on Android platform, for monitoring the thermal comfort situation of livestock animals. The processing was based on the calculation of specific enthalpy of the air, resulting in the comfort situation of the animals and the diagnosis of the environment. The application was developed based on four main functions, using different input data sources: open environment (satellite), closed environment (Arduino® sensor), manual calculation and forecast for the next 7 days (satellite). The software was initially designed from the user's perspective, using UML notation and a storyboard for screen design as documentation. The project development was conducted following the agile Scrum methodology, where the software was developed on Android platform and programmed in Java. The resulting product was evaluated by potential users, revealing desirable characteristics of design, terminology, learning and usability. In conclusion, *Animalcomfort* represented a high potential tool for quick, easy and affordable management in the identification of thermal comfort of animals, directly assisting in the decision making of best alternatives in productive environmental managements.

Keywords: Android; Specific air enthalpy; Usability; Thermal comfort

5.1. Introdução

Novas tecnologias, baseadas no desenvolvimento de softwares e hardwares, vem sendo incorporadas na cadeia de produção animal, que se moderniza exponencialmente ao longo dos últimos anos. Dentro do contexto das “fazendas inteligentes” e da “agropecuária 4.0”, tais ferramentas têm como principal escopo auxiliar na tomada de decisão nas propriedades, potencializando o ganho produtivo, reduzindo os riscos econômicos e propondo novos sistemas de criação que favoreçam, como exemplo, o bem-estar animal (Ryu et al., 2015; Wolfert et al., 2017).

Quando se discute o alojamento dos animais em regiões de clima tropical e subtropical, surge como um dos principais pontos críticos a garantia do conforto térmico da produção. O estresse térmico ocorre, assim, na exposição dos animais – que são seres homeotérmicos – à ambientes que oferecem obstáculos para sua termorregulação, onde a carga térmica proveniente da instalação é superior à

capacidade de dissipação do calor pelo animal (Slimen et al., 2016; Gao et al., 2017; Rashamol et al., 2018).

Mesmo reconhecendo os efeitos do estresse térmico nas diversas etapas do manejo dos animais e na qualidade de seus produtos (Cowley et al., 2015; Slimen et al., 2016; Quintão et al., 2017; Rashamol et al., 2018; Nordlund et al., 2019; Nyoni et al. 2019), a gestão dos dados macro e microclimáticos ainda é escasso e feito de maneira irregular em grande parte das propriedades rurais. A primeira problemática é que, em muitos casos, dados do ambiente de interesse zootécnico não são coletados, por vezes limitando-se somente na averiguação da temperatura do ar (Brown-Brandl, 2013). Consequentemente, é desconsiderado variáveis importantes como a umidade relativa do ar, a pressão atmosférica, a velocidade do vento, a radiação solar e outras características ambientais que são relevantes na determinação do estresse térmico (Aziz et al. 2016).

Enquanto uma segunda e comum problemática, quando coletados, os dados obtidos não produzem informação válida e suficiente para elaborar estratégias que reduzam casos de estresse térmico nas propriedades. Krishnan et al. (2017) relatam que a falta ou a má gestão dos dados climáticos conduzem a informações incompletas e tomadas de decisão inconclusivas ou até mesmo errôneas.

Atualmente, o gerenciamento de dados vem migrando para os dispositivos móveis, como smartphones e tablets, pois os aplicativos (apps) possibilitam o acesso mais direto e frequente à informação e permitem adaptações para uso individual (Liu et al., 2014) na vida cotidiana dos usuários. Lançado em 2008 pela Google, o Android é o maior sistema operacional do mundo para este seguimento, possuindo como vantagens a sua licença de código aberto e o desenvolvimento de apps de alta tecnologia e custo relativamente baixo.

Na literatura recente, trabalhos tiveram como objetivo desenvolver aplicativos para avaliar o estresse térmico dos animais de produção: Dalmedico et al. (2016) utilizaram a entrada manual de dados – fornecido por um usuário - para o cálculo do ITGU (Índice de Temperatura de Globo e Umidade) para aves de corte, enquanto Oliveira Junior et al. (2018) utilizaram dados de sensores com comunicação Bluetooth para a determinação do conforto térmico de diferentes animais baseado no ITU (Índice de Temperatura e Umidade) e ITGU.

Na extração de informações relevantes a partir do gerenciamento de dados microclimáticos, a avaliação psicrométrica do ar surge enquanto uma proposta

metodológica, pois esta envolve um conjunto de variáveis que caracterizam o ar ambiente de forma combinada, como a entalpia específica, caracterizada como a quantidade de calor presente em uma unidade de massa de ar seco. De acordo com os trabalhos de Chu e Jong (2008), Rodrigues et al. (2011), Hendari et al. (2016), Hendari et al. (2018) e Sarghausen, (2019), a entalpia vem sendo utilizada como um índice de conforto térmico, incorporando no seu cálculo as relações entre temperatura do ar, umidade relativa e pressão atmosférica local.

O objetivo deste trabalho foi projetar e desenvolver, além de validar sob o ponto do usuário, um aplicativo móvel – intitulado *Animalcomfort* - elaborado no sistema operacional Android para o diagnóstico da situação de conforto térmico dos animais de produção.

5.2. Material e métodos

5.2.1. Princípios de funcionamento

A lógica de processamento para diagnosticar o conforto térmico dos animais foi baseada nos princípios psicrométricos e na entalpia específica do ar, seguindo um sistema de entrada (blocos em azul), processamento (blocos em amarelo) e saída (blocos em verde) conforme representado na Figura 17.

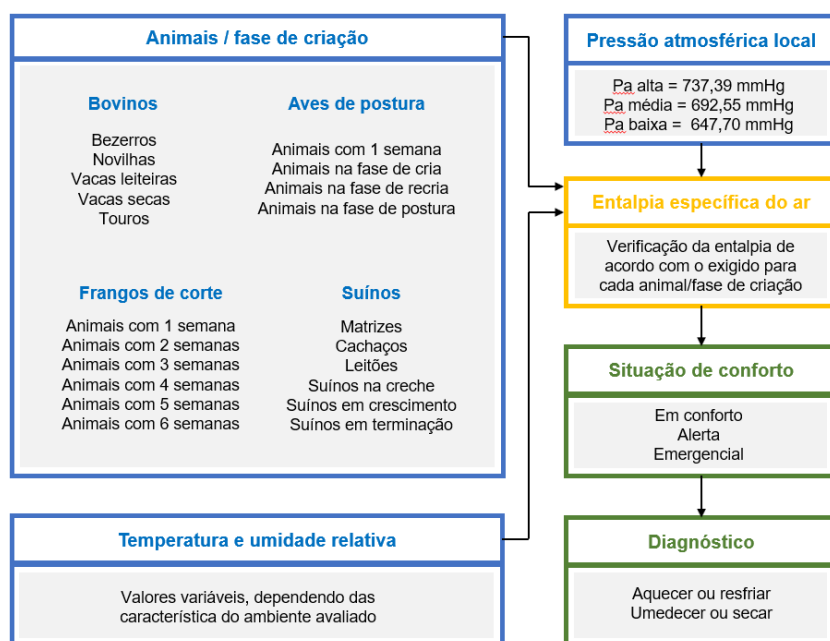


Figura 17. Sistema de funcionamento-base do aplicativo: dados de entrada (blocos em azul), processamento (bloco em amarelo) e saídas (blocos em verde).

O primeiro dado de entrada corresponde à seleção dos animais de produção. Este trabalho se concentrou na caracterização do conforto térmico de bovinos de leite, suínos, aves de postura e frangos de corte. Contudo, como cada animal responde diferentemente às variações do ambiente de acordo com seu crescimento, foi necessário subdividir os animais de interesse em suas respectivas fases de criação (6 categorias para aves de corte e suínos, 5 categorias para bovinos leiteiros e 4 categorias para poedeiras).

Propriedades psicrométricas do ar foram incorporadas como dados de entrada, sendo considerados neste trabalho a temperatura de bulbo seco (Tbs), a umidade relativa (UR) e a pressão atmosférica local (Pa). Para o processamento interno do aplicativo, foi utilizada como referência a equação corrigida por Rodrigues et al. (2011) (Eq. 11), que calcula a entalpia específica do ar a partir das variáveis de entrada aqui consideradas.

$$h = 1,006Tbs + \left(\frac{UR}{Pa}\right) * 10^{\left[\frac{7,5Tbs}{237,3+Tbs}\right]} * (71,28 + 0,052Tbs) \quad (\text{Equação 11})$$

Em que:

h = entalpia específica do ar, kJ/Kg de ar seco

Tbs = temperatura de bulbo seco, °C

UR = umidade relativa, %

Pa = pressão atmosférica local, mmHg

Já como saídas, foram determinadas a situação da condição de conforto térmico e o diagnóstico de problemas relacionados ao ambiente. Para a caracterização da situação de conforto, foram utilizados os parâmetros de referência de entalpia para cada animal/fase de criação, de acordo com os resultados apresentados no Capítulo 3. A situação de conforto foi subdivida em três grupos, sendo: animais em conforto térmico (h dentro da zona de termoneutralidade); animais em estado de alerta (valores de h entre a h ideal e a h crítica); e animais em estado emergencial (h acima da h crítica). Estados de alerta e emergencial representam níveis de estresse térmico dos animais.

O diagnóstico, enquanto uma segunda saída, utiliza os resultados de h, somados aos parâmetros de Tbs e UR – também descritos no Capítulo 3 –, para

identificar os possíveis problemas psicrométricos do ambiente, conforme os processos psicrométricos de aquecimento, resfriamento, secagem e umidificação apresentadas por Britto (2010). Os diagnósticos foram categorizados de D1 a D7, sendo: D1 = ambiente ideal, com h dentro da zona de conforto; D2 = ambiente quente e úmido, com T_{bs} e UR acima do ideal; D3 = ambiente quente, com T_{bs} alta; D4 = ambiente úmido, com UR alta; D5 = ambiente frio e seco, com T_{bs} e UR baixas; D6 = ambiente frio, com T_{bs} baixa; D7 = ambiente seco, com UR baixa.

5.2.2. Projeto e design do aplicativo

Para a aplicação prática da lógica de processamento aqui exposta, foi proposto o projeto de um software – aplicativo móvel – para o sistema operacional Android, baseando-se em múltiplas possibilidades de entrada de dados.

Como ponto de partida, foi sugerida a elaboração de um diagrama de casos de uso, que é um modelo comportamental incluso do conjunto de notações UML (Unified Modeling Language). A linguagem de modelagem UML auxilia na investigação dos requisitos funcionais do sistema, sendo assim recomendado como uma plataforma para projeto documental de aplicativos (Kang e Park, 2016). O diagrama foi desenvolvido no software Astah®, sendo explicitado os atores, os casos de uso e as comunicações pertinentes ao sistema projetado. O documento UML foi elaborado seguindo a utilização de quatro métodos de entrada de dados, chamadas de funções, possibilitando assim quatro tipos de diagnósticos, conforme apresentado na Tabela 17.

Tabela 17. Funções de trabalho do sistema

Função	Tipo do dado (T_{bs} e UR)	Fonte do dado (T_{bs} e UR)
Ambiente aberto	Automático (em tempo real)	Satélite
Ambiente fechado	Automático (em tempo real)	Sensor Arduino®
Manual	Manual	Usuário
Previsão	Automático (próximos 7 dias)	Satélite

A função “Ambiente aberto” compreendeu o diagnóstico do conforto térmico dos animais a partir da utilização de dados de entrada (T_{bs} , UR e P_a) extraídos em tempo real, por Satélite. Para isso, foi utilizado a API (Application Programming

Interface) disponibilizada pela *OpenWeather*, que oferece atualização dos dados meteorológicos captados por Satélite em menos de uma hora. A licença para utilização do serviço de API é descrita pela Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International (CC BY-AS 4).

A função “Ambiente fechado” possuiu o intuito de compreender a situação de conforto térmico de animais alojados em instalações fechadas, que possui microclima distinto dos ambientes abertos. Para isso, foram utilizados dados de entrada registrados por um dispositivo desenvolvido em plataforma Arduino®. O sensor utilizado neste trabalho foi confeccionado com uma placa NodeMCU ESP8266, equipado com um sensor DHT11 para coleta da TBs e UR e comunicação via WiFi com antena embutida. O processo de desenvolvimento do sensor é detalhado no Capítulo 4.

Já a função “Manual” visou obter o diagnóstico da situação de conforto a partir de dados inseridos pelo próprio usuário, permitindo incorporar valores testes e/ou proporcionar a avaliação de ambientes internos para usuários que não possuíssem o sensor Arduino® integrado. Por fim, a função “Previsão” utilizou os dados meteorológicos de previsão da API disponibilizada pela *OpenWeather*, seguindo os mesmos procedimentos da função “Ambiente aberto”. Para a previsão, foram considerados como dados de entrada a Tbs e UR média prevista para os próximos 7 dias da leitura atual.

Para atender às funções requisitadas, foi elaborada uma *storyboard*, enquanto uma ferramenta relevante para design de aplicativos (Trapp e Yasmin, 2013). Esse esquema sequencial foi utilizado para identificar as especificações do software e definir sua lógica de funcionamento através da comunicação entre as telas. No aplicativo proposto neste trabalho, foi desenvolvida uma tela individual para cada função descrita na Tabela 17.

Ainda no desenvolvimento do design visual do aplicativo, foram consideradas as boas práticas de modelagem propostas por Boock et al. (2005) e Rucker (2003), sendo abordado um conjunto de imagens e terminologias que permitissem a navegação intuitiva e de fácil compreensão dos potenciais usuários (produtores rurais, pesquisadores, técnicos, entre outros). A seleção de cores para a caracterização do conforto térmico dos animais seguiu o padrão comumente adotado para os índices de conforto térmico e em referência à sinalização de trânsito: verde para o estado de conforto, amarelo para o estado de alerta e

vermelho para o estado emergencial de estresse térmico. Ademais, ícones que identificam visualmente o tipo de leitura (ambientes fechados, ambientes fechados, leitura manual e preditiva) e o tipo de animal avaliado (bovinos, suínos e aves) foram explorados neste trabalho.

5.2.3. Desenvolvimento da arquitetura do aplicativo

A partir da determinação das funções e do design pré-definido, o desenvolvimento do aplicativo mobile, intitulado *Animalcomfort*, foi subdividido na elaboração dos seguintes elementos: a interface homem-máquina, sendo o aplicativo em si; um banco de dados, para o resgate dos valores de Tbs e UR exportados do dispositivo Arduino® para a função “Ambiente fechado” como também para o registro das atividades feitas pelo usuário no app; e um servidor web para comunicação entre aplicativo e banco de dados. A Figura 18 apresenta a arquitetura de desenvolvimento do aplicativo, destacando os três elementos propostos e as suas comunicações.

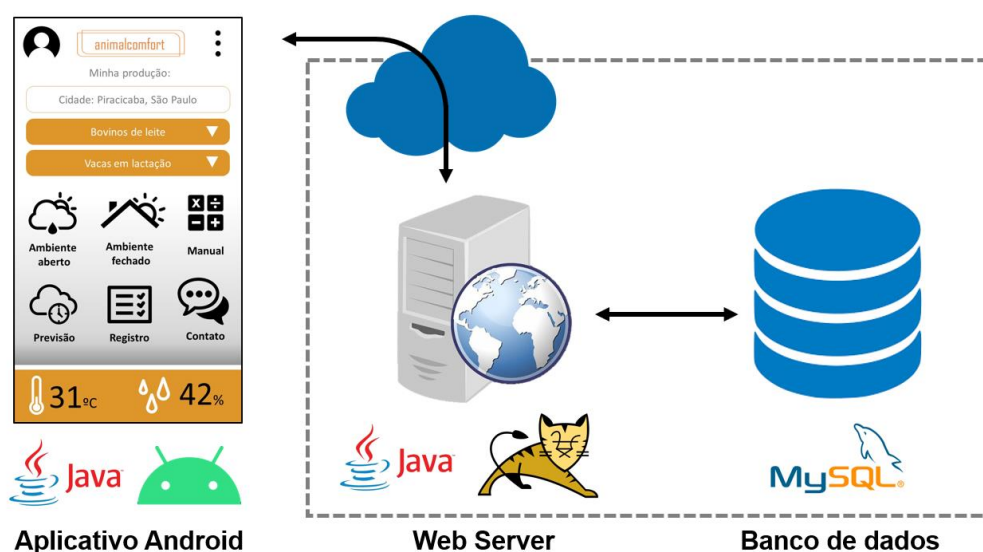


Figura 18. Arquitetura do aplicativo e seus elementos integrados

Conforme o modelo, a arquitetura deve ser capaz de compreender o pedido do usuário (execução de determinada função), enviá-lo para o servidor web e buscar o referido registro no banco de dados. Em contrapartida, o banco de dados devolve ao servidor web as informações exigidas e oferece a resposta ao usuário. A arquitetura proposta se assemelha ao padrão de comunicação comumente visto em

outros dispositivos mobile (Abel et al., 2013). Detalhes sobre o desenvolvimento de cada elemento são descritos a seguir.

O primeiro elemento, a interface homem-máquina – o aplicativo *Animalcomfort* –, foi programada em linguagem Java, utilizando a IDE (Integrated Development Environment) Android Studio®, que permitiu o desenvolvimento integrado da programação com o design das telas, empregando as boas práticas de programação definidas pela Engenharia de Software. Este trabalho optou pela metodologia Scrum como guia de desenvolvimento de software, que é um modelo de produção ágil de aplicativos que se baseia em sprints. Os sprints, por sua vez, são iterações (ou ciclos) de desenvolvimento de curta duração (Mahalakshmi e Sundararajan, 2013).

Ainda no conceito de desenvolvimento rápido, o aplicativo *Animalcomfort* é apresentado neste trabalho enquanto um produto mínimo viável (MVP), que representa um protótipo teste para usuários em potencial, afim de diagnosticar possíveis problemas no app que poderão ser, futuramente, corrigidas antes da entrega do produto final. Tal prática, guiada pelo feedback do usuário, evita alto investimento financeiro e de tempo em aplicações que podem não ser úteis ou acessíveis, como é comum em práticas de desenvolvimento tradicionais (Cheng, 2016; Scherr et al., 2017).

Além da criação do aplicativo para o sistema operacional Android, também foi necessária a incorporação de ferramentas que ofereceram subsídios para a utilização plena do dispositivo móvel. A primeira delas foi a criação do banco de dados, desenvolvido no software MySQL®, que é um sistema de gerenciamento de bando de dados (SGBD) que utiliza como linguagem de programação a *Structured Query Language* (SQL). Foi adotado neste projeto o desenvolvimento de um modelo de base de dados relacionais, conforme as características propostas por Silberschatz et al. (2016).

O segundo elemento envolveu a criação de um servidor web, propondo assim a comunicação entre usuário (via aplicativo) e banco de dados. Dessa forma, foi utilizado um provedor de serviços em nuvem, SaveinCloud, que é um ambiente de hospedagem de dados com comunicação direta com o banco de dados através da plataforma de código aberto Apache TomCat na versão 9.

5.2.5. Validação pelos usuários

Por apresentar um desenvolvimento guiado pela perspectiva do usuário, a versão MVP do aplicativo foi validado de acordo com testes de usabilidade. Para a validação, foram utilizados 100 indivíduos caracterizados como clientes em potencial, seguindo os seguintes critérios: (a) já possuem contato com dispositivos celulares em seu cotidiano, com preferência de aparelhos equipados com sistema operacional Android e (b) se envolverem em atividades voltadas para a produção animal, a exemplo de produtores rurais, técnicos, pesquisadores e estudantes de cursos das ciências agrárias (zootecnia, medicina veterinária, engenharia agrônômica e correlatas). Informações identificáveis dos entrevistados foram omitidos, sendo utilizado números de identificação para anonimato dos avaliados e registrados somente a idade, sexo e ocupação. O experimento foi aprovado pela Comissão de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da ESALQ/USP (Nº CAAE 21493019.7.0000.5395).

Para o teste de usabilidade do aplicativo, foi utilizada a adaptação da metodologia para testes com usuários apresentada por O'Malley et al. (2014) e Shneiderman et al. (2010), baseado na ação de três fases. A primeira delas foi relativa a avaliação da efetividade técnica do aplicativo, em que foram designadas tarefas específicas para os usuários realizarem com o aplicativo. As tarefas foram:

- 1) Abra o aplicativo -> selecione a produção “suínos” -> selecione a fase de criação “maternidade” -> abra a função “Ambiente aberto” -> registre a leitura, adicionando seu número de identificação;
- 2) Retorne ao menu principal -> selecione a função “Manual” -> insira o valor de 35°C para a temperatura e 70% para a umidade -> obtenha o resultado -> registre a leitura, adicionando seu número de identificação;
- 3) Retorne ao menu inicial -> selecione a função “Registro” -> insira seu número de identificação cadastrado nas etapas anteriores -> busque o conteúdo -> exporte o conteúdo para uma planilha Excel.

O teste de efetividade técnica do aplicativo foi concluído quando o usuário indicou a finalização de cada tarefa (obtendo sucesso ou não). A avaliação da performance destes usuários seguiu um critério de scores: 0 (não conseguiu desenvolver a tarefa), 1 (conseguiu desenvolver a tarefa, com algum grau de dificuldade) e 2 (tarefa concluída com sucesso, sem dificuldade).

A segunda fase envolveu a avaliação da eficiência relativa do usuário, em que foi mensurado o tempo necessário para o indivíduo realizar cada uma das tarefas do teste de efetividade técnica.

A terceira fase se caracterizou com o questionário de satisfação do usuário (Tabela 18), que foi aplicado ao entrevistado após a execução das duas primeiras fases.

Tabela 18. Questionário para teste de satisfação do usuário

Q	Questão	Resposta
Sobre o Layout		
Q1	As imagens são compreensíveis	Discordo totalmente ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 Concordo totalmente
Q2	Os elementos gráficos estão bem organizados na tela	Discordo totalmente ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 Concordo totalmente
Q3	Os elementos gráficos ajudam a compreender o funcionamento do app	Discordo totalmente ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 Concordo totalmente
Q4	A quantidade de cores utilizadas é adequada	Discordo totalmente ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 Concordo totalmente
Sobre a terminologia (palavras):		
Q5	Fonte e tamanho das letras são satisfatórios	Discordo totalmente ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 Concordo totalmente
Q6	Os termos utilizados são compreensíveis e não-ambíguos	Discordo totalmente ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 Concordo totalmente
Sobre a usabilidade do sistema:		
Q7	É fácil entender o conceito e a aplicação do app	Discordo totalmente ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 Concordo totalmente
Q8	O tempo de execução do app é adequado	Discordo totalmente ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 Concordo totalmente
Q9	Os comandos são autoexplicativos	Discordo totalmente ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 Concordo totalmente
Q10	O tempo de aprendizado do app é curto	Discordo totalmente ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 Concordo totalmente
Impressões gerais:		
Q11	O app é claro e objetivo	Discordo totalmente ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 Concordo totalmente
Q12	O app é fácil de usar	Discordo totalmente ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 Concordo totalmente
Q13	O app é útil	Discordo totalmente ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 Concordo totalmente
Q14	Eu usaria o app novamente	Discordo totalmente ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 Concordo totalmente

Fonte: adaptado de Padilha (2004) e Santos (2015)

Nesta etapa, foram utilizados os preceitos estabelecidos pela ISO/IEC 9126 (1991), adaptada na NBR 13596:1996 - Tecnologia de informação - Avaliação de produto de software - Características de qualidade e diretrizes para o seu uso, que oferece normativas para avaliação da qualidade de softwares por meio das características funcionabilidade, confiabilidade, eficiência, manutenibilidade e portabilidade.

O questionário para avaliação da satisfação de clientes foi composto por 4 critérios principais: o layout do aplicativo (com 4 questões), a terminologia empregada (2 questões), a aprendizagem do sistema (4 questões) e conceitos gerais (4 questões). Cada questão proposta foi uma afirmativa que permitiu respostas do tipo “Discordo totalmente” (score 1); “Discordo” (score 2); “Neutro” (score 3); “Concordo” (score 4) e “Concordo totalmente” (score 5).

5.3. Resultados e discussão

5.3.1. Projeto, desenvolvimento e execução do aplicativo

Respondendo como a primeira etapa de desenvolvimento de projeto, a Figura 19 apresenta o diagrama de casos de uso resultante das funções expressas na Tabela 17.

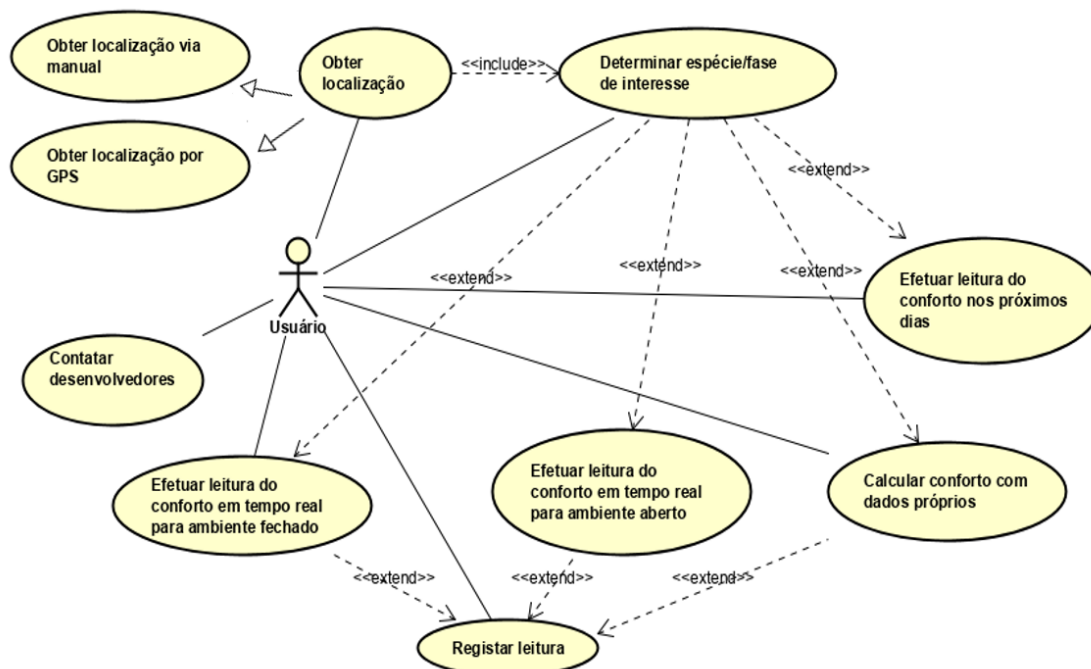


Figura 19. Diagrama de casos de uso para o projeto do *Animalcomfort*

Inicialmente, coube ao usuário determinar a sua localização (que pode ser feita de modo manual ou pelo GPS do celular) e, em seguida, escolher, obrigatoriamente, a espécie de interesse e a fase de criação. Nota-se que somente o caso de uso “contatar desenvolvedores” é independente do caso de uso “determinar espécie/fase de interesse”, que quando não selecionada, mantém bloqueada a execução das funções programadas. A partir do caso de uso “determinar espécie/fase de interesse”, o sistema permite ao usuário desempenhar as quatro tarefas principais: realizar a leitura do conforto térmico dos animais em tempo real, em ambiente aberto (automático); realizar a leitura do conforto térmico dos animais em tempo real, em ambiente fechado (automático); calcular a situação de conforto dos animais utilizando dados inseridos manualmente; e observar o comportamento do conforto térmico para os próximos dias (previsão). As três primeiras funções estão associadas com a função registrar leitura, que salva os valores registrados nos casos de uso conectados a este.

De acordo com Bezerra (2007), o diagrama é uma importante ferramenta para a estruturação do sistema sob o ponto de vista do usuário, explicitando os agentes envolvidos, os passos exigidos para a execução das funções e a comunicação entre as funções propostas. O projeto inicial destacou, portanto, a sua organização sob a ótica do usuário, incorporando a descrição das suas possíveis ações no sistema.

Após isso, as funções apresentadas no diagrama de casos de uso foram esquematizadas no design das telas do aplicativo, conforme a *storyboard* apresentada na Figura 20. Foram propostas a criação de oito telas, sendo:

(1) a splash screen (tela de abertura), contendo o logotipo e a versão atual do software, que é uma tela padrão de desenvolvimento da maioria dos aplicativos móveis (Cheng, 2018; Ahmed et al., 2019);

(2) o menu inicial, contendo a localização obtida manual ou automaticamente (por GPS), botões de escolha do animal e da fase de criação, os ícones das funções e a Tbs e UR coletada automaticamente (por Satélite);

(3) tela para a função “Ambiente aberto”, que apresenta a situação de conforto do animal selecionado, o indicativo de diagnóstico, um campo com os dados atualizados em tempo real pela API e o botão para o registro da leitura;

(4) tela para a função “Ambiente fechado”, contemplando a situação de conforto do animal selecionado utilizando os dados provenientes do sensor

Arduino®, o registro em tempo real das variáveis do sensor e botões para exportação dos dados em Excel e registro da leitura no app;

(5) tela para a função “Manual”, contendo campos para a inserção dos dados de entrada manualmente pelo usuário, um botão para o cálculo da situação de conforto e outro para o registro da leitura;

(6) tela para a função “Previsão”, contendo um gráfico com a situação de conforto para os próximos dias, acompanhado dos indicativos de previsão de Tbs, UR e precipitação;

(7) tela para a função “Registro”, onde é possível obter a listagem dos registros salvos pelo usuário, incluindo a data/hora, o tipo de animal e a fase de criação avaliada, o tipo de leitura (ambiente aberto, ambiente fechado ou manual) e a situação de conforto registrado no momento. Foi adicionando também um comando para a exportação destes dados para uma planilha Excel;

(8) tela para contato, contemplando os meios de comunicação com a equipe de desenvolvimento do app *Animalcomfort*.

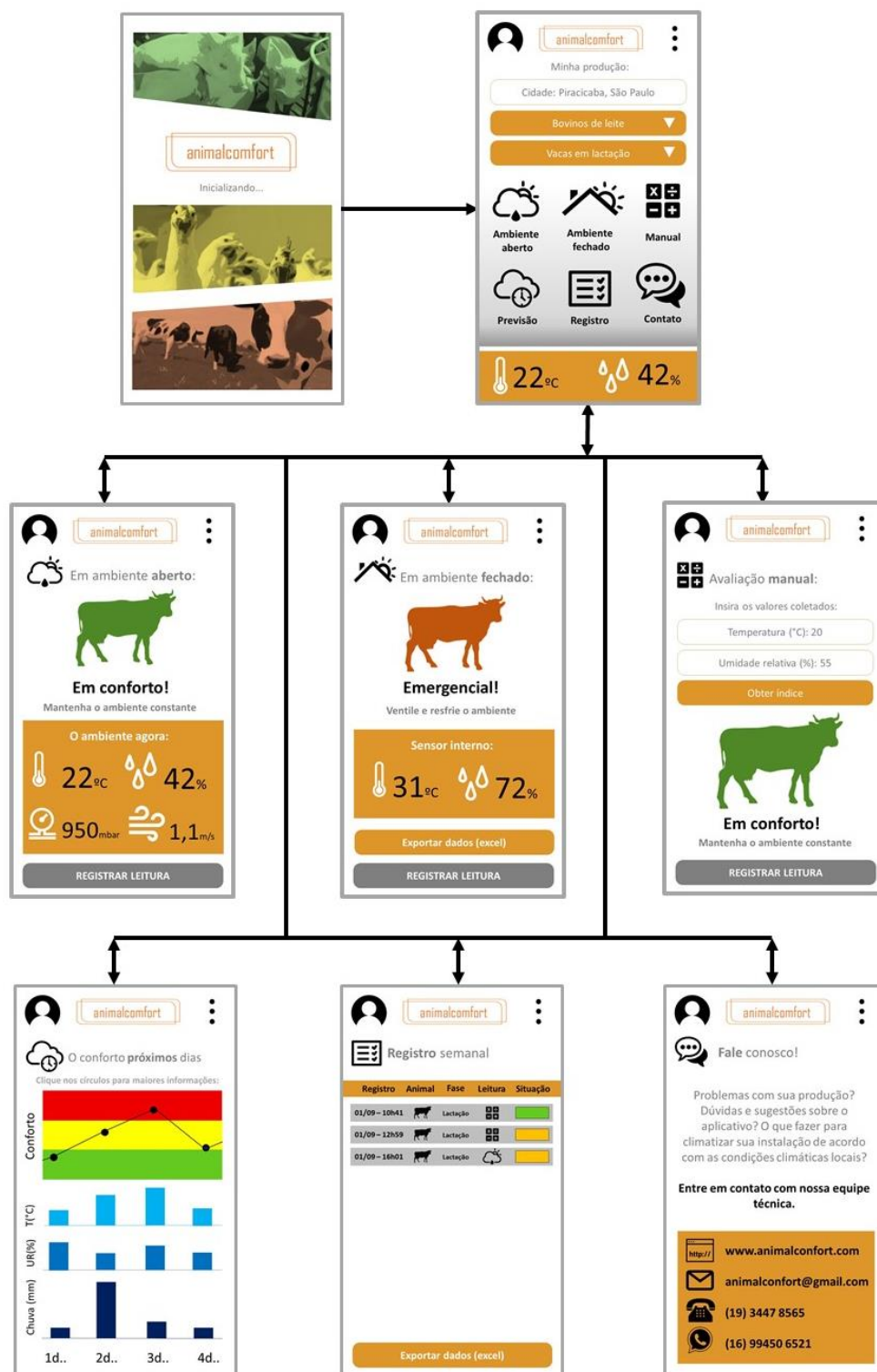


Figura 20. Storyboard representativo do design das telas do aplicativo

Sobre a comunicação entre as telas, é importante evidenciar que a *splash screen* só é carregada com a inicialização do app, não sendo novamente exposta. Ademais, a tela de menu inicial conecta as telas das funções, de registro e de

contato, sendo a tela principal de comunicação entre as funcionalidades do aplicativo.

Através do projeto elaborado para o aplicativo – somando os resultados do diagrama de casos de uso e a storyboard – foram determinadas as atividades e duração de cada Sprint, conforme preza a metodologia de desenvolvimento Scrum (Figura 21). O desenvolvimento do projeto durou dois meses e uma semana, a partir de um conjunto de cinco sprints. Vale destacar que cada sprint representou a execução de um ou mais casos de uso expostos na Figura 19, tendo como resultado uma versão tangível do aplicativo.

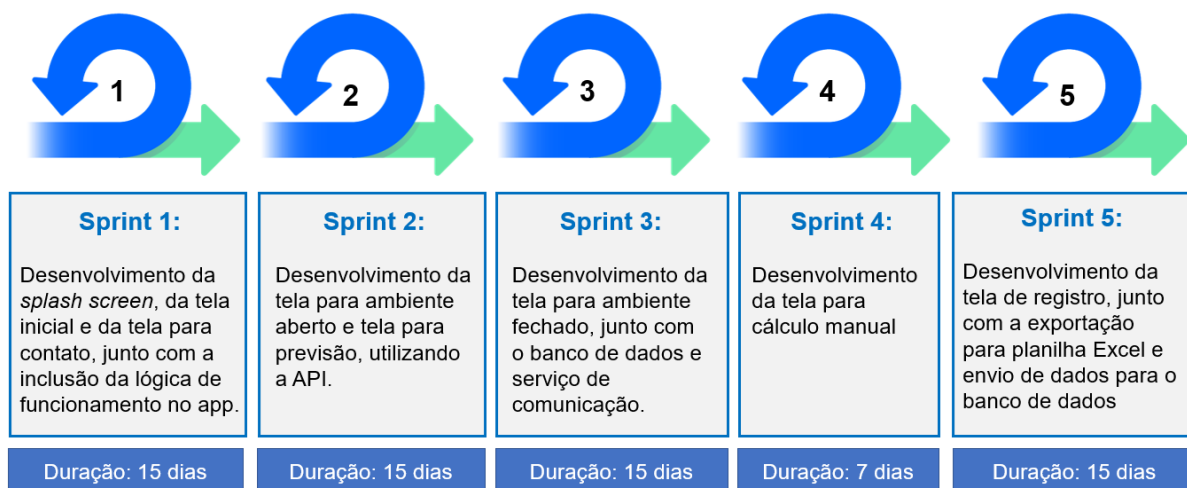


Figura 21. Sprints de desenvolvimento do aplicativo, baseados na metodologia Scrum

A um primeiro momento, a literatura aponta que a metodologia Scrum de desenvolvimento de softwares propõe dinâmicas de trabalho que se afastam dos códigos de desenvolvimento em UML. O framework Scrum, de crescente utilização nos últimos anos, se utiliza do mínimo de documentação possível, enfocando no desenvolvimento do código a partir de entregas rápidas sem a burocratização do ciclo de produção do app. A notação UML, por sua vez, que faz parte das técnicas tradicionais ou pesadas, corresponde a uma forma de sistematização de desenvolvimento de softwares a partir de uma documentação padrão, tornando o processo de produção repetível e organizado, porém mais demorado (Eder et al., 2015; Santos et al., 2016).

Entretanto, este trabalho explora as potencialidades de ambas as metodologias guias para o desenvolvimento do *Animalcomfort*, utilizando recursos

desejáveis de ambos. Dos diagramas em UML, foi explorado uma documentação inicial guia para apontar e organizar as primeiras estratégias de funcionamento do software, colocando o usuário enquanto protagonista para a determinação dos possíveis atributos do produto. Incorporando a metodologia ágil de desenvolvimento, o documento UML passou a ter uma função adaptativa ao invés de preditiva, permitindo assim realizar ajustes do modelo inicial e economizar tempo e investimento, já que o Scrum abre maiores possibilidades de aceitação de mudanças. A utilização de um conceito de desenvolvimento Scrum associado com artefatos UML também são registrados em outros trabalhos que exploram o desenvolvimento de softwares (Soares, 2004; Qureshi e Sayid, 2015; Santos et al., 2016).

Este trabalho apresenta como resultado das metodologias de desenvolvimento uma versão beta – MVP – do aplicativo. A Figura 22 apresenta os principais resultados do software funcionando a partir de estudos de caso. Na tela inicial (Figura 22A), a localização – no caso de Piracicaba – é inserida automaticamente, assim como os valores de Tbs e UR, provenientes do satélite, são exibidos no quadrante inferior do aplicativo. Nota-se que as três funções de leitura do *Animalcomfort* estão desabilitadas, sendo ativadas somente após a escolha da produção e do animal de interesse. Como um exemplo de tela de leitura, a Figura 22B apresenta o diagnóstico da situação de conforto para aves de corte na primeira semana de vida, em ambiente fechado. A situação emergencial é devido à baixa temperatura ambiente, já que estes animais estão termicamente confortáveis em ambientes mais quentes.

Um conjunto de dados registrados é apresentado na Figura 22C. Esta tela apresentou maiores modificações quando comparado com o design inicial (Figura 20), sendo apresentado no MVP a partir de uma lista de strings. A modificação permitiu o desenvolvimento mais rápido, dentro do prazo previsto para o sprint 5. No registro, é possível observar a data e hora da leitura, o animal e a fase de criação avaliada, o tipo de leitura e a situação de conforto. Já a Figura 22D apresenta os dados exportados para uma planilha em Excel. Além dos mesmos registros apresentados no app, a planilha ainda resgata os dados de Tbs, UR, Pa, h coletados durante a leitura. O conjunto total de registros, de todos os usuários, fica armazenado no banco de dados geral hospedado no serviço em nuvem.

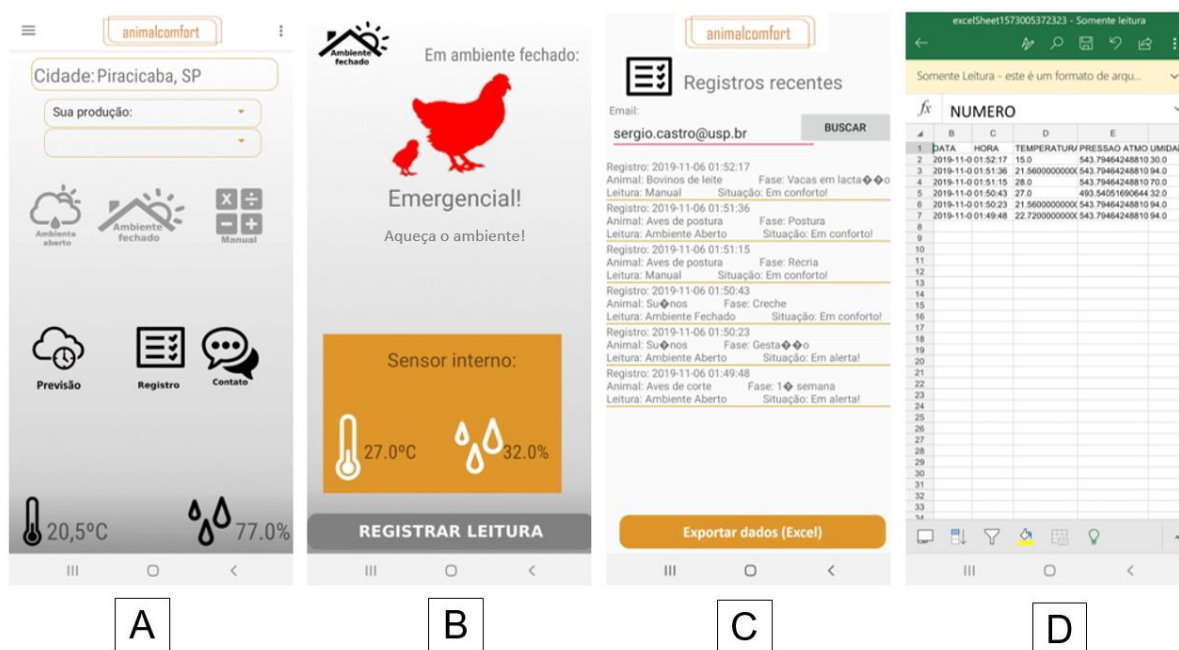


Figura 22. Conjunto de telas desenvolvidas no app: (A) tela inicial; (B) tela para leitura pelo sensor; (C) tela de registro e (D) Excel com os registros exportados.

Em decorrência da metodologia Scrum, processos de modificações foram incluídos na documentação original, propondo novos layouts em decorrência do tempo de desenvolvimento estipulado para uma versão MVP.

5.3.2. Validação pelo usuário

Os testes de usabilidade foram aplicados para potenciais usuários do aplicativo, sendo estes divididos em três grandes grupos: (1) Produtores rurais e técnicos de campo (35% dos entrevistados), com uma média de idade de 37 anos, destes sendo 66% homens e 34% mulheres; pesquisadores e professores universitários (27% dos entrevistados), com idade média de 33 anos, representados por 41% de mulheres e 59% homens; e estudantes de cursos relacionados às ciências agrárias (38% dos entrevistados), como zootecnia, medicina veterinária e engenharias correlatas, com uma média de 24 anos, compreendendo 29% de homens e 71% de mulheres. Os participantes residiam em nove estados brasileiros, com maior porcentagem de entrevistados (78%) da região Sudeste.

A Tabela 19 apresenta os resultados gerais – sem distinção de grupo – para a avaliação da efetividade técnica do aplicativo, dada pela frequência dos scores (%), e da avaliação da eficiência relativa do usuário, dada pelo tempo de execução das tarefas (segundos).

Tabela 19. Resultados gerais da avaliação da efetividade técnica do aplicativo e da eficiência relativa do usuário

Tarefa	Efetividade técnica do aplicativo			Efetividade relativa do usuário	
	0 (%)	1 (%)	2 (%)	Média (seg)	Desvio padrão (seg)
1	0	0	100	40	12
2	0	26	74	42	15
3	0	0	100	25	6

Considerando os resultados da efetividade técnica do aplicativo, destaca-se que as tarefas 1 e 3 foram realizadas sem nenhuma dificuldade aparente, pois todos os avaliados conseguiram atingir score 2 para ambas as atividades. Ademais, todos os usuários conseguiram finalizar a atividade 2, embora 26% dos avaliados apresentaram dificuldades na sua realização (score 1). Tal fato ocorreu devido principalmente à confusão sobre a tecla “ok” do teclado utilizado para adicionar os dados manuais: este botão estava configurado para apagar os dados e não para suspender o uso do teclado. Comparando os grupos, 75% dos casos de score 1 na tarefa 2 são provenientes dos grupos formados por produtores e pesquisadores.

Já na avaliação da efetividade relativa do usuário, a tarefa 1 foi executada com tempo médio de 40 segundos (mínima de 22 e máxima de 75 segundos), enquanto a tarefa 2 foi executada com uma média de 42 segundos (mínima de 16 e máxima de 80 segundos) e a tarefa 3, por sua vez, foi executada com uma média de tempo de 25 segundos (mínima de 17 e máxima de 36 segundos). Quando comparados a um especialista, um usuário experiente do aplicativo conseguiu realizar as tarefas 1, 2 e 3 utilizando 13, 14 e 8 segundos, respectivamente.

Seccionando entre grupos, os estudantes fizeram todas as tarefas em menor tempo médio quando comparado aos pesquisadores e produtores. O grupo de estudantes obteve média de 35 segundos para a tarefa 1, 38 segundos para a tarefa 2 e 34 segundos para a tarefa 3. Já o grupo dos produtores e técnicos apresentaram médias de 41 segundos para a tarefa 1, 48 segundos para a tarefa 2 e 26 segundos para a tarefa 3. O grupo dos professores e pesquisadores apresentam tempo de execução próximo dos produtores e técnicos, com 45 segundos para a tarefa 1, 40 segundos para a tarefa 2 e 27 segundos para a tarefa 3.

Resultados do teste de efetividade relativa do usuário mostram que as diferenças entre os grupos são mais preponderantes pela diferença de idade, e não

pela ocupação exercida pelos entrevistados, já que os grupos de produtores e professores (que possuem faixas de idades semelhantes) apresentaram tempo de execução das tarefas similar.

Os resultados do questionário para avaliação da usabilidade do aplicativo é sumarizado na Figura 23, sendo os gráficos subdivididos pelos quatro critérios avaliados.

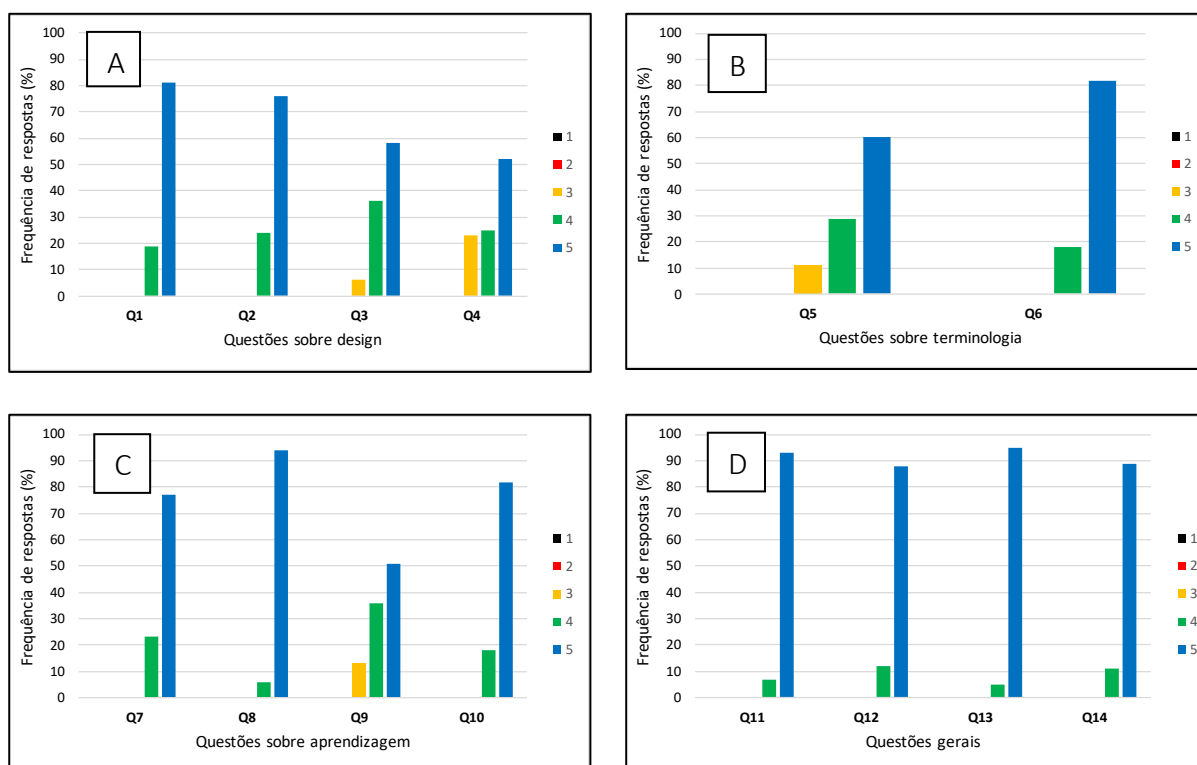


Figura 23. Frequência geral de respostas (scors de 1 a 5) do questionário de usabilidade: (A) Layout, (B) terminologia, (C) aprendizagem e (D) impressões gerais.

Quando questionados sobre o layout/design do aplicativo, 81% dos indivíduos avaliados concordaram totalmente (score 5) que as imagens são compreensíveis (Q1), enquanto 19% avaliaram a questão com score 4. Resultados similares foram obtidos para a organização dos elementos da tela (Q2), com 24% dos entrevistados indicando score 4 e 76% indicando score 5. Já 6% dos indivíduos deram score 3 quando questionados se os elementos gráficos ajudaram a compreender o funcionamento do app (Q3), enquanto 23% dos indivíduos avaliaram com o mesmo score a quantidade de cores utilizadas (Q4). Embora o score 5 possua maior frequência em todas as questões relacionadas ao design, os

resultados indicam que novos esforços devem ser aplicados na definição de paletas de cores e na utilização de elementos gráficos mais compreensíveis e intuitivos.

Considerando o segundo critério, sobre a terminologia, 11% dos interrogados deram score 3 quando questionados sobre a fonte e o tamanho das letras (Q5), enquanto 29% deram score 4 e 60% score 5. Questionados se as palavras utilizadas são compreensíveis e não-ambíguas (Q6), a maioria dos entrevistados deram o score máximo (82%) e o restante score 4. Os resultados sugerem que houve boa recepção das palavras, fontes e tamanho de letra empregados no app, cabendo algumas melhorias nos últimos dois quesitos.

O terceiro critério objetivou avaliar o grau de dificuldade no manuseio e interpretação do funcionamento do aplicativo *Animalcomfort*, sendo válido destacar que os entrevistados realizaram o primeiro contato com o app durante a avaliação. 77% dos indivíduos concordaram, com um score 5, que o conceito e aplicação do app é de fácil compreensão (Q7), o restante respondendo com score 4. O tempo de execução do aplicativo (Q8) acumulou 94% de frequência com score 5. A próxima questão foi a única do critério de aprendizagem que apresentou respostas de score 3 (13%), quando os entrevistados foram questionados se os comandos são autoexplicativos (Q9). Por fim, resultados similares a Q7 foram obtidos ao tratar sobre o tempo de aprendizado do app, onde 82% dos entrevistados concordaram totalmente que o software não exigiu muito tempo para compreender seu funcionamento (Q10).

O último critério trouxe como resultados as impressões gerais sobre a proposta e usabilidade do aplicativo *Animalcomfort*, onde todas as questões foram pontuadas com score 4 e 5. Com isso, 93% dos entrevistados concordam totalmente que o app é claro e objetivo (Q11), 88% deram o mesmo score quando questionados se o app é fácil de usar (Q12), 95% concordam totalmente que o app é útil (Q13) e 89% concordam totalmente que usariam o app novamente (Q14). Resultados sugerem, portanto, que o aplicativo tem apelo de uso por todos os seus usuários em potencial. Também é importante destacar que todas as 14 questões obtiveram maiores frequências de respostas apontando o score máximo.

Quando as propostas apresentadas no projeto (versão inicial) foram confrontadas com o MVP apresentado para teste (versão beta), nota-se que é necessário fazer poucas adaptações para atender às demandas do usuário. Dentre tais melhorias, evidenciadas pelos resultados dos testes, destacam-se: automatizar

e ajustar o teclado de digitalização; concentrar maior atenção na escolha no padrão de cores utilizados no design; adicionar ícones mais claros e autoexplicativos; adicionar um ícone direto de retorno para a tela principal, nas telas de cada função; e corrigir erros de leitura das letras acompanhadas com caracteres especiais.

Rocha e Baranauskas (2003) destacam que a avaliação de uma proposta tecnológica feita pelo usuário final do sistema é de grande valia para compreender, de fato, os pontos críticos do software elaborado, permitindo aos desenvolvedores reconhecer as problemáticas e traçar novas estratégias. Contudo, é importante ressaltar que nenhum dos trabalhos que apresentam o desenvolvimento de aplicativos para o diagnóstico do conforto térmico apresentam nos seus resultados a validação do software sob o ponto de vista do usuário.

5.4. Conclusões

O *Animalcomfort* é um aplicativo que utiliza os princípios psicrométricos – fundamentados na entalpia específica do ar – para indicar a situação do conforto térmico dos animais de produção, utilizando diferentes fonte de dados de entradas de acordo com a necessidade e disponibilidade do usuário. Dessa forma, o aplicativo móvel torna acessível à diversos usuários – de diferentes formações e idades – que trabalham diretamente com o setor de produção animal, se apropriando de um processamento que demanda conhecimento especializado e tempo, quando feita de maneira convencional. O projeto do aplicativo foi orientado sob o ponto de vista do usuário, inicializando com o desenvolvimento de uma notação UML que enfocou neste sujeito enquanto protagonista e concluindo com a avaliação da usabilidade por estes agentes. O projeto UML, consorciado à praticas do desenvolvimento Scrum, possibilitou o desenvolvimento do software de maneira menos burocrática, mas sem perder o rigor da documentação inicial. Os resultados de usabilidade indicaram que os usuários encontraram poucos desafios na execução de tarefas práticas do aplicativo. Ademais, os entrevistados avaliaram positivamente, com scores iguais ou acima de 3, todos os critérios de usabilidade do aplicativo, evidenciando seu potencial de uso prático. Por fim, os resultados da avaliação, quando cruzados com as expectativas de projeto, revelam que a versão beta se apresenta bastante próxima da versão inial do software, cabendo mínimas alterações para alcançar padrões qualitativos similares aos aplicativos comerciais.

Financiamento: Este estudo foi financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Referências

Abel, O.; Shatunov, A.; Jones, A. R.; Andersen, P. M.; Powell, J. F.; Al-Chalabi, A., 2013. Development of a smartphone app for a genetics website: the amyotrophic lateral sclerosis online genetics database (ALSoD). *JMIR mHealth and uHealth*, 1(2), e18. <https://doi.org/10.2196/mhealth.2706>

Ahmed, S. A.; Parvez, T.; Dey, P. R., 2019. Mobile App-Dhaka City Guide. Daffodil International University, 39.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1996. NBR 13596: tecnologia de informação - avaliação de produto de software - características de qualidade e diretrizes para o seu uso. Rio de Janeiro, 10p.

Aziz, Z.; Varma, G. G.; Raji, K.; Gleeja, V. L, 2016. Influence of temperature humidity index on the physiological parameters and growth rate of crossbred cattle calves. *International Journal of Applied and Pure Science and Agriculture*, 2, 187-190.

Bezerra, E, 2007. Princípios de Análise e Projeto de Sistemas com UML. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007, 2ª edição, 392.

Boock, G.; Rumbaugh, J.; Jacobson, I., 2005. The Unified Modeling Language User Guide. Pearson Education, 2ª edição, 496.

Britto, J. F. B, 2010. Considerações sobre psicrometria. *Revista SBCCv*. 45, 35-41.

Brown-Brandl, T. M.; Nienaber, J. A.; Eigenberg, R. A.; Hahn, G. L.; Freetly, H., 2003. Thermoregulatory responses of feeder cattle. *Journal of Thermal Biology*, 28(2), 149-157. [https://doi.org/10.1016/S0306-4565\(02\)00052-9](https://doi.org/10.1016/S0306-4565(02)00052-9)

Cheng, F., 2018. Basic App Structure. In: *Build Mobile Apps with Ionic 4 and Firebase*. Apress, Berkeley, CA, 103-117.

Cheng, L. C., 2016. The mobile app usability inspection (maui) framework as a guide for minimal viable product (mvp) testing in lean development cycle. In: *Proceedings of the 2nd International Conference in HCI and UX Indonesia 2016*. ACM, 2016. p. 1-11.

Chu C. M.; Jong T. L, 2008. Enthalpy estimation for thermal comfort and energy saving in air conditioning system. *Energy Conversion and Management*, 49, 1620-1628. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2007.12.012>

Cowley, F. C.; Barber, D. G.; Houlihan, A. V.; Poppi, D. P., 2015. Immediate and residual effects of heat stress and restricted intake on milk protein and casein composition and energy metabolism. *Journal of Dairy Science*, 98(4), 2356-2368. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8442>

Dalmedico, G.; Abreu, P. G.; Coldebella, A.; Santos Filho, J. I., 2016. Conforcal-manual do usuário. Embrapa Suínos e Aves-Fôlder/Folheto/Cartilha (INFOTECA-E).

Eder, S.; Conforto, E. C.; Amaral, D. C.; Silva, S. L., 2015. Diferenciando as abordagens tradicional e ágil de gerenciamento de projetos. *Production*, 25(3), 482-497. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-65132014005000021>

Gao, S. T.; Guo, J.; Quan, S. Y.; Nan, X. M.; Fernandez, M. S.; Baumgard, L. H.; Bu, D. P., 2017. The effects of heat stress on protein metabolism in lactating Holstein cows. *Journal of dairy science*, 100(6), 5040-5049. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11913>

Heidari, H.; Golbabaie, F.; Shamsipour, A.; Rahimi Forushani, A.; Gaeini, A., 2016. Determination of air enthalpy based on meteorological data as an indicator for heat stress assessment in occupational outdoor environments, a field study in Iran. *Journal of Research in Health Sciences*, 16, 133-140.

Heidari, H.; Rahimifard, H.; Mohammadbeigi, A.; Golbabaie, F.; Sahranavard, R.; Shokri, Z., 2018. Validation of air enthalpy in evaluation of heat stress using wet bulb globe temperature (WBGT) and body core temperature: A case study in a hot and dry climate. *Health and Safety at Work*, 8, 81-92.

Kang, H.; Park, H. A., 2016. A mobile app for hypertension management based on clinical practice guidelines: development and deployment. *JMIR mHealth and uHealth*, 4(1), e12. <https://doi.org/10.2196/mhealth.4966>

Krishnan, G.; Bagath, M.; Pragna, P.; Vidya, M. K.; Aleena, J.; Archana, P. R., ... & Bhatta, R., 2017. Mitigation of the heat stress impact in livestock reproduction. *Theriogenology*, 4, 63-86. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.69091>

Liu, C. Z.; Au, Y. A.; Choi, H. S., 2014. Effects of freemium strategy in the mobile app market: An empirical study of google play. *Journal of Management Information Systems*, 31(3), 326-354.

Mahalakshmi, M.; Sundararajan, M., 2013. Traditional SDLC Vs Scrum Methodology—A Comparative Study. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 3(6), 192-196.

Martello, L. S.; Savastano Junior, H.; Silva, S. L.; Titto, E. A. L., 2004. Respostas fisiológicas e produtivas de vacas holandesas em lactação submetidas a diferentes ambientes. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 33, 181-191.

Nienaber, J. A.; Hahn, G. L., 2007. Livestock production system management responses to thermal challenges. *International Journal of Biometeorology*, 52(2), 149-157. <https://doi.org/10.1007/s00484-007-0103-x>

Nordlund, K. V.; Strassburg, P.; Bennett, T. B.; Oetzel, G. R.; Cook, N. B., 2019. Thermodynamics of standing and lying behavior in lactating dairy cows in freestall and parlor holding pens during conditions of heat stress. *Journal of dairy science*, 102(7), 6495-6507. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15891>

Nyoni, N. M. B.; Grab, S.; Archer, E. R., 2019. Heat stress and chickens: climate risk effects on rural poultry farming in low-income countries. *Climate and Development*, 11(1), 83-90. <https://doi.org/10.1080/17565529.2018.1442792>

Oliveira Júnior, A. J.; Souza, S. R. L.; Cruz, V. F.; Vicentin, T. A.; Glavina, A. S. G., 2018. Development of an android APP to calculate thermal comfort indexes on animals and people. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 151, p. 175-184. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.05.014>

O'Malley, G.; Dowdall, G.; Burls, A.; Perry, I. J.; Curran, N., 2014. Exploring the usability of a mobile app for adolescent obesity management. *JMIR mHealth and uHealth*, 2(2), e29. <https://doi.org/10.2196/mhealth.3262>.

Padilha, A. V., 2004. Usabilidade na Web: uma proposta de questionário para avaliação do grau de satisfação de usuários do comércio eletrônico. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, 104.

Quintão, L. C.; Cunha, A. F. D.; Bragança, L. J.; Coelho, K. S.; Nunes, M. F.; Saraiva, L. H. G., 2017. Evolution and factors influencing somatic cell count in raw milk from farms in Viçosa, state of Minas Gerais. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 39(4), 393-399. <http://dx.doi.org/10.4025/actascianimsci.v39i4.35364>

Qureshi, M. R. J.; Sayid, I., 2015. Scheme of global scrum management software. *International Journal of Information Engineering and Electronic Business*, 7(2), 1-7. <https://doi.org/10.5815/ijieeb.2015.02.01>

Rashamol, V. P.; Sejian, V.; Bagath, M.; Krishnan, G.; Archana, P. R.; Bhatta, R., 2018. Physiological adaptability of livestock to heat stress: an updated review. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology*, 6(3), 62-71.

Rocha, H. V.; Baranauskas, M. C. C., 2003. Design e avaliação de interfaces Humano-Computador. Campinas, SP: NIED – UNICAMP, 257.

Rodrigues, V. C.; Silva, I. J. O.; Vieira, F. M. C.; Nascimento, S. T., 2011. A correct enthalpy relationship as thermal comfort index for livestock. *International Journal of Biometeorology*, 55, 455-459. <https://doi.org/10.1007/s00484-010-0344-y>

Rucker, R., 2003. Software engineering and computer games. Harlow: Addison-Wesley, 1ª edição, 648.

Ryu, M.; Yun, J.; Miao, T.; Ahn, I. Y.; Choi, S. C.; Kim, J., 2015. Design and implementation of a connected farm for smart farming system. In: 2015 IEEE Sensors, 1-4. <https://doi.org/10.1109/ICSENS.2015.7370624>

Santos, L., 2015. Teste e avaliação de usabilidade de app para gestão de diabetes em Android. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciências, Universidade do Porto, Porto, 87.

Santos, N.; Fernandes, J. M.; Carvalho, M. S.; Silva, P. V.; Fernandes, F. A.; Rebelo, M. P., ... & Machado, R. J., 2016. Using scrum together with UML models: a collaborative university-industry R&D software project. In International Conference on Computational Science and its Applications, Springer, Cham, 480-495.

Sarnighausen, V. C. R., 2019. Estimation of thermal comfort indexes for production animals using multiple linear regression models. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology*, 7, 73-77. <http://dx.doi.org/10.31893/2318-1265jabb.v7n2p73-77>

Scherr, S. A.; Elberzhager, F.; Holl, K., 2017. An automated feedback-based approach to support mobile app development. In: 2017 43rd Euromicro Conference on Software Engineering and Advanced Applications (SEAA). IEEE, 2017. p. 44-51.

Shneiderman, B.; Plaisant, C.; Cohen, M.; Jacobs, S. L., 2010. Designing the user interface: strategies for effective human-computer interaction. Boston: Addison-Wesley, 2010.

Silberschatz, A.; Sundarshan, S.; Korth, H. F., 2012. Sistema de banco de dados. Elsevier Brasil, 6ª edição, 904.

Slimen, I. B.; Najar, T.; Ghram, A.; Abdrabba, M., 2016. Heat stress effects on livestock: molecular, cellular and metabolic aspects, a review. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 100(3), 401-412. <https://doi.org/10.1111/jpn.12379>

Soares, M. S., 2004. Metodologias ágeis extreme programming e scrum para o desenvolvimento de software. *Revista Eletrônica de Sistemas de Informação*, 3(1), 1-8. <https://doi.org/10.21529/RESI.2004.0301006>

Trapp, M.; Yasmin, R., 2013. Addressing animated transitions already in mobile app storyboards. In: International Conference of Design, User Experience, and Usability. Springer, Berlin, Heidelberg, p. 723-732.

Wolfert, S.; Ge, L.; Verdouw, C.; Bogaardt, M. J., 2017. Big data in smart farming—a review. *Agricultural Systems*, 153, 69-80. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2017.01.023>

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Sabendo-se da necessidade do desenvolvimento de ferramentas tecnológicas, bem como alternativas para auxiliar os gestores das fazendas no aprimoramento de estratégias para solucionar o estresse térmico dos animais, acredita-se que as sugestões aqui apresentadas podem ser utilizadas na solução parcial desses problemas.

A metodologia desenvolvida neste trabalho para diagnosticar o estresse térmico dos animais incorporou as contribuições feitas por diversos estudiosos para atualizar os parâmetros qualitativos do estresse, para cada fase de criação. A interpretação pelo viés das relações psicométricas permitiu não só identificar o nível de conforto térmico dos animais, como também sugeriu métodos de climatização do ambiente. Ademais, a utilização de árvores de decisão foi uma solução simples, mas bastante útil, para interpretar os dados microclimáticos.

Os sensores desenvolvidos a partir desta metodologia, mesmo propondo diferentes formas de armazenamento e leitura dos dados, permitiram monitorar a situação de estresse em tempo de real e alimentar bancos de dados para posterior utilização. Ambos os dispositivos apresentaram baixo custo de desenvolvimento e a calibração apresentou alta correlação com um sensor comercial. Destaque é dado para o sensor confeccionado com comunicação via WiFi, permitindo subtrair alguns módulos eletrônicos – tornando o dispositivo menor e mais leve – e possibilitando comunicação à distância.

Entre outras funções, o sensor alimentou o dispositivo móvel feito para o sistema operacional Android. O software admitiu incorporar múltiplas funcionalidades, a partir da entrada de diferentes fontes de dados. Dessa maneira, o aplicativo, mesmo em sua versão teste, apresentou grande apelo de uso, conquistadas por suas características positivas de layout, terminologia e tempo de aprendizagem, conforme evidenciado pelos testes feitos por potenciais usuários.

Como um todo, este trabalho apresentou um conjunto de ferramentas que estreitam a comunicação entre os avanços da comunidade científica com as demandas da cadeia produtiva. A partir desse pacote tecnológico, a situação de conforto térmico dos animais pode, portanto, ser diagnosticada em tempo real, de forma prática e com baixo custo.