



COSME TEIXEIRA DA SILVA

**SISTEMA INTELIGENTE PARA CONTROLE DA
CLIMATIZAÇÃO DE AVIÁRIOS PARA PRODUÇÃO DE
FRANGOS DE CORTE.**

LAVRAS - MG

2020

COSME TEIXEIRA DA SILVA

**SISTEMA INTELIGENTE PARA CONTROLE DA CLIMATIZAÇÃO DE AVIÁRIOS
PARA PRODUÇÃO DE FRANGOS DE CORTE.**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas e Automação, área de concentração em Sistemas Inteligentes, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. *DSc.* Tadayuki Yanagi Junior
Orientador

Prof. *DSc.* Raphael Winkler de Bettio
Coorientador

LAVRAS - MG

2020

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

Silva, Cosme Teixeira da.

Sistema Inteligente para Controle da Climatização de Aviários
para Produção de Frangos de Corte. / Cosme Teixeira da Silva. -
2019.

71 p.

Orientador(a): Tadayuki Yanagi Junior.

Coorientador(a): Raphael Winkler de Bettio.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de
Lavras, 2019.

Bibliografia.

1. Avicultura de corte. 2. Agroindústria 4.0. 3. Automação. I.
Junior, Tadayuki Yanagi. II. de Bettio, Raphael Winkler. III. Título.

COSME TEIXEIRA DA SILVA

**SISTEMA INTELIGENTE PARA CONTROLE DA CLIMATIZAÇÃO DE AVIÁRIOS
PARA PRODUÇÃO DE FRANGOS DE CORTE.**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas e Automação, área de concentração em Sistemas Inteligentes, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADO em 24 /09/2019.

Prof. *DSc.* Tadayuki Yanagi Junior - UFLA

Prof. *DSc.* Raphael Winkler de Bettio - UFLA

Prof. *DSc.* Leonardo Schiassi - UFLA

Prof. *DSc.* José Wallace Barbosa do Nascimento – UFCG

Prof. *DSc.* Danton Diego Ferreira - UFLA

Prof. *DSc.* Tadayuki Yanagi Junior
Orientador

Prof. *DSc.* Raphael Winkler de Bettio
Coorientador

LAVRAS-MG

2020

A Deus

A meus pais, Joaquim e Tania e a todos familiares e amigos pelo apoio nessa caminhada

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela oportunidade e saúde para alcançar mais esta meta.

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Engenharia, pela oportunidade de realização do mestrado e ao Programa de Pós-Graduação, em especial à secretária Fernanda, pela paciência e auxílio.

Ao Prof. Tadayuki, pela orientação, pelos ensinamentos e acima de tudo por acreditar no meu trabalho, ajudar inigualavelmente nos desafios que encontrei durante o tempo de curso e pela amizade.

Ao Prof. Raphael, por todo apoio dado na parte técnica e pelos direcionamentos durante as dificuldades técnicas.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia, sempre prestativos e amigos.

Aos meus pais, familiares e amigos por me fortalecerem com palavras de apoio, incentivo e motivacionais durante esta caminhada.

Enfim, agradeço a todos que contribuíram por mais essa importante fase da minha vida, carreira e conquista pessoal.

Deixo a todos, o meu muito obrigado.

RESUMO

Neste trabalho, objetivou-se na melhoria de processo de controle e monitoramento para galpão de frango de corte, para obter um melhor do ambiente térmico para as aves, onde o não haja stress térmico seja por calor ou frio, uma arquitetura com fundamentos de *Internet of Things (IoT)* e agricultura 4.0, implementar um controlador *fuzzy* embarcado em microcontrolador ESP8266 e um aplicativo *web* multiplataforma utilizando aplicações open source e softwares livres como o *Node-RED* uma ferramenta baseada em fluxos de dados e que esse aplicativo *web* comunique-se com o controlador *fuzzy* e atue no sistema de climatização do aviário. O controlador *fuzzy* foi embarcado em um microcontrolador *ESP8266*, tendo como central do sistema um computador de baixo custo o *Raspberry Pi 3* para armazenamento das variáveis coletadas pelos sensores de temperatura *DS18B20* e temperatura e umidade *DHT22* e, a classificação fornecida pelo controlador *fuzzy* embarcado em microcontrolador, sendo as informações transmitidas via *Message Queue Telemetry Transport (MQTT)* para a central *web*. A persistência de dados é feita utilizando um banco de dados *MySQL*, instalado no *Raspberry Pi3*.

O sistema atua nas tomadas de decisão para o controle do ambiente térmico de aviários para frangos de corte com idades variando e 1 a 49 dias de vida. As variáveis de entrada do sistema são o Índice Temperatura Globo Negro e Umidade e a idade das aves (dias), e como saída, após a defuzzificação por meio do método do Centro de Gravidade, a classificação do ambiente e atuação na climatização do galpão de forma automática e inteligente quando necessário. A inferência foi realizada por meio do método *Mamdani*, sendo que, comparou-se a classificação do ambiente realizada pelo *MATLAB* e pelo protótipo desenvolvido.

O protótipo inteligente de baixo custo apresentou percentagem de acerto da classificação do ambiente térmico de 100%, após simular 200 cenários com diferentes ambientes térmicos, quando comparado ao aplicativo computacional *MATLAB*. Desta forma, o protótipo inteligente mostra-se adequado para operacionalizar, de forma automática, a supervisão das variáveis de avaliação do ambiente térmico e o controle de equipamentos relacionados à ambiência térmica de aviários, possibilitando a mitigação de condições de estresse térmico no interior de aviários e, conseqüentemente, de perdas de produtividade, sendo uma alternativa para aplicação na agroindústria 4.0.

Palavras-chave: Avicultura de corte, Conforto térmico, Automação, Agroindustria 4.0, IoT.

ABSTRACT

In this study, the control and monitoring process for a broiler house was improved to mitigate or eliminate thermal stresses in the birds' environment. An architecture based on the Internet of Things (IoT) and agribusiness 4.0 was used to implement a fuzzy controller embedded in an ESP8266 microcontroller. A multiplatform web application (consisting of open-source applications and free software, such as Node-RED, a tool based on data streams) communicated the conditions of the aviary climate system to the fuzzy controller. Data were collected by a DS18B20 temperature sensor and a DHT22 temperature and humidity sensor. A Raspberry Pi 3 served as a low-cost central computer system to store these data and the rating provided by the microcontroller-embedded fuzzy controller. This information was transmitted to the central web server via message queue telemetry transport (MQTT). Data persistence was achieved using a MySQL database installed on the Raspberry Pi 3.

The system performed decision-making to control the aviary thermal environment of broilers ranging from one to 49 days old. The input variables of the system were the black globe-humidity index (BGHI) and the bird age. Defuzzification by the center of gravity method produced environmental ratings as output variables that were used to control the aviary thermal environment in an automatic and smart manner. The inference was performed using the Mamdani method, and the accuracy of the results was determined by comparison with an environmental classification performed in MATLAB.

Using the low-cost intelligent prototype produced a 100% accuracy (based on the MATLAB results) for the thermal environment score for 200 scenarios simulated with different thermal environments. Thus, the intelligent prototype can be used to automatically supervise evaluation variables and equipment control in aviary thermal environments. This alternative system can be used as an agribusiness 4.0 application to mitigate thermal stress conditions in aviaries and, consequently, reduce productivity losses.

Keywords: Poultry Industry, Thermal Comfort, Automation, Agribusiness 4.0, IoT.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - <i>Raspberry Pi+ Model B</i>	21
Figura 2 - Microcontrolador <i>Wemos D1</i>	23
Figura 3 - Microcontrolador <i>Wemos D1Mini</i>	23
Figura 4 - Sensor de Temperatura <i>DHT22</i>	24
Figura 5 - Sensor de Temperatura <i>DS118B20</i>	24
Figura 6 - Protocolo <i>MQTT</i>	26
Figura 7 - Esquema ilustrativo de um sistema <i>fuzzy</i>	29

LISTA DE SIGLAS

ABPA	Associação Brasileira de Proteína Animal
ASHARE	<i>American Society of Heating & Refrigeration & AC Engineering</i>
°C	Graus Celcius
DHT22	Sensor de Temperatura e Umidade
<i>eFLL</i>	<i>Embedded Fuzzy Logic Library</i>
<i>GPIO</i>	<i>General Purpose Input Output</i>
<i>HTTP</i>	<i>Hypertext Transfer Protocol</i>
<i>IOT</i>	<i>Internet of Things (Internet da coisas)</i>
ITGU	Índice Temperatura Globo Negro e Umidade
QoS	<i>Quality of Services</i>
U	Umidade
SSL	<i>Secure Socket Layer</i>
TLS	<i>Transport Layer Security</i>
t_{bs}	Temperatura do bulbo seco
t_{gn}	Temperatura do globo negro
t_{po}	Temperatura do ponto de orvalho
<i>MQTT</i>	<i>Message Queue Telemetry Transport</i>
<i>Wifi</i>	<i>Wireless</i>
UBABEF	União Brasileira de Avicultura
MAPA	Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento

1. Introdução.....	12
2. Objetivo geral.....	13
3. Referencial teórico.....	14
3.1 Avicultura de corte no Brasil.....	14
3.2 Interação entre a ave e o ambiente.....	15
3.3 Índices de avaliação do ambiente térmico.....	17
3.3.1 Índice de temperatura e umidade (ITU).....	17
3.3.2 Índice de temperatura do globo negro e umidade (ITGU).....	17
3.4 Climatização de aviários comerciais.....	18
3.4.1 Ventilação.....	19
3.4.2 Resfriamento evaporativo.....	20
3.4.3 Sistema de controle para climatização.....	20
3.5 Hardware.....	21
3.5.1 Microcontroladores.....	21
3.5.2 Raspberry Pi.....	22
3.5.3 Microcontrolador Wemos R1.....	23
3.5.4 Microcontrolador Wemos R1 Mini.....	23
3.5.5 Sensores de temperatura DHT22 e DS18B20.....	24
3.6 Comunicação sem fio dispositivo para dispositivo (D2D).....	25
3.6.1 Message Queue Telemetry Transport (MQTT).....	25

3.7 Agricultura digital.....	26
3.7.1 Inteligência artificial <i>fuzzy</i>.....	28
3.7.2 Inferência tipo Mandani.....	30
3.7.3 Embedded Logic Fuzzy Library (eFLL).....	30
4 Considerações finais.....	30
REFERÊNCIAS.....	32
SEGUNDA PARTE – ARTIGO.....	45
PROJETO DE UM SISTEMA SEM FIO BASEADO NA <i>WEB</i> E MULTIPLATAFORMAS PARA O CONTROLE DO AMBIENTE TÉRMICO DE AVIÁRIOS PARA FRANGOS DE CORTE USANDO INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL <i>FUZZY</i> E DISPOSITIVOS DE BAIXO CUSTO	

1. Introdução

A produção de carne de frango é de grande importância para a economia mundial, sendo o Brasil, líder em exportação. O setor avícola é um dos mais importantes setores do agronegócio brasileiro, que coloca o país na posição de destaque no cenário mundial, devido principalmente, aos avanços obtidos nas áreas de melhoramento genético, manejo, sanidade, ambiência e nutrição.

Para se alcançar o máximo desempenho de acordo com o potencial genético da linhagem de frango, torna-se necessário que o ambiente propicie condições de conforto térmico que variam de acordo com a idade das aves. Entretanto, dificilmente o ambiente fornece, sem intervenção externa, as condições térmicas ideais para o animal durante suas fases de produção. Portanto, temperaturas abaixo ou acima da termoneutra podem resultar em alterações metabólicas, com consequente queda do desempenho das aves.

Enquanto os frangos de corte sujeitos a estresse térmico na fase inicial de criação podem não se recuperar até o abate, por não terem o órgão termorregulador completamente desenvolvido, aves adultas expostas a altas temperaturas podem reduzir a ingestão de alimentos, reduzindo a taxa de crescimento, e assim gerando prejuízos a produção. Além disso, o animal irá dispor de mais energia para os mecanismos termorreguladores para tentar conseguir dissipar esse calor, resultando em maiores valores de conversão alimentar.

Neste contexto, estudos relacionados à ambiência de frangos de corte são imperativos para a otimização da produtividade e produção. O controle do ambiente térmico no interior do aviário possibilita que aves possam atingir o máximo potencial produtivo, considerando que os outros fatores relacionados a produção sejam manejados adequadamente. Ademais, metodologias de controle mais sofisticadas, como as baseadas em inteligência artificial, bem como, o uso de tecnologias modernas (*hardware*), possibilitam o desenvolvimento de sistemas de automação que apresentem eficiência adequada e sejam disponíveis a pequenos produtores.

Dentre as metodologias baseadas em inteligência artificial, destaca-se a lógica *fuzzy* que permite o desenvolvimento de sistemas de controle *fuzzy* eficientes e com respostas mais próximas à realidade, desde que adequadamente desenvolvidas. Por sua vez, o uso de microcontroladores comerciais programáveis, de baixo custo e que permitem o acesso remoto às informações e controle

do sistema de climatização possibilita que os produtores e a equipe envolvida na produção tenham acesso em tempo real aos dados térmicos no interior do aviário e possam tomar decisões no caso de falha do sistema ou incapacidade de se obter a eficácia necessária diante de um determinado desafio térmico.

2. Objetivo geral

Objetivou-se com o presente trabalho, construir e testar um controlador *fuzzy* para o controle de sistemas de climatização, embarcado e com acesso via dispositivos móveis e multiplataforma de baixo custo, para pequenos criadores de frango de corte.

3. Referencial teórico

3.1 Avicultura de corte no Brasil

O setor de produção de frangos de corte é a atividade agropecuária mais tecnológica e o Brasil ocupa posição de destaque mundial, sendo que, as atividades que estão indiretamente ligadas ao setor desenvolvem constantes inovações tecnológicas (UBABEF, 2017).

O Brasil tem grande importância no cenário nacional e internacional, sendo o maior exportador mundial a frente de grandes países como os Estados Unidos da América, a China e a União Europeia (UBABEF, 2018). Em 2016, 66,9% da produção nacional foi destinada para o consumo interno e 33,1% para exportações, sendo que o país ocupa o segundo lugar em produção mundial, perdendo apenas para os Estados Unidos (ABPA, 2017). O consumo nacional de carne de frango foi de 42,07 kg por habitante em 2016 e tem aumentado com o passar dos anos (ABPA, 2017).

Portanto, o setor avícola de corte tem papel fundamental no fornecimento de alimentos proteicos para a população mundial, sendo que, para atender a demanda interna e externa crescente até o ano de 2050, a produção mundial terá que aumentar em 70% (BEECHAM, 2014; GHEORGHE, 2017).

Visando melhorar o ambiente de produção de frangos de corte, reduzindo o estresse e melhorando o ambiente de produção, diversas pesquisas têm sido desenvolvidas. De acordo com OLIVEIRA (2006), em pesquisa com 149 pintos machos, observou que altas temperaturas prejudicam a produção de cortes nobres de frango de corte, e notou-se também na mesma pesquisa que os efeitos são mais acentuados com o aumento da umidade relativa do ar. Cordeiro (2010) testou diferentes sistemas de aquecimento e concluiu que o sistema de tambor e campanulas foi o mais eficiente, tendo gerando melhor resultado na produção avícola com resultados melhores de ganho de peso, conversão alimentar e eficiência produtiva. Abreu (2011) reportou que a ambiência de aviários envolve tarefa multidisciplinar, englobando o conhecimento da fisiologia da ave, o diagnóstico bioclimático da microrregião de produção e a aplicação de novos sistemas de produção, que visam controlar e monitorar diferentes variáveis do ambiente de criação das aves. Lopes (2015) desenvolveu um sistema automatizado utilizando tecnologias gratuitas, com transmissão sem fio *Zigbee*, para implementar um sistema de automação que monitora e controla o ambiente térmico,

variáveis internas e armazenando as informações como *datalogger*. O sistema de automação de baixo custo, mostrou-se estável, sendo aplicável para climatização de aviários. Alecrim (2017) desenvolveu um controlador *fuzzy*, composto por *hardware* e *software*, para monitorar ambientes de granjas com frangos com idade entre 1 e 28 dias de idade, obtendo bons resultados no controle de aviários.

Segundo Rodrigues (2014), o bom desempenho da cadeia produtiva avícola nas últimas décadas se deve a fatores como: melhoramento genético de linhagens e insumos, investimentos em tecnologias de automatização do sistema produtivo, controle das condições sanitárias de criação, aperfeiçoamento de pessoal quanto ao manejo das aves, além do sistema de produção integrado.

3.2 Interação entre a ave e o ambiente

A normalidade das atividades celulares de um animal necessita que o seu ambiente interno esteja estável com relação as flutuações externas, processo definido como homeotermia, homeostase ou homeocinese (BAÊTA & SOUZA, 2010).

As aves mantêm a temperatura do núcleo corporal dentro de estreitos limites, mesmo que a temperatura do ambiente em que estão inseridas flutue, sendo assim, denominadas como animais homeotermos (BAÊTA & SOUZA, 2010). Portanto, a homeotermia refere-se ao processo pelo qual, o animal mantém a temperatura do núcleo corporal aproximadamente constante, por meio de processos de aumento e dissipação de taxas de calor, mediante as flutuações ocorridas no meio ambiente externo (BAÊTA & SOUZA, 2010).

O frango de corte está em troca contínua de calor com o meio ambiente que está inserido, porém, este sistema somente é eficiente se a temperatura do ar no interior do aviário permanece dentro de limites de conforto térmico indicados para a ave (ABORISIDADE et al., 2014).

O conforto térmico ou zona de termoneutralidade pode ser definida como sendo o intervalo de temperatura ambiente efetiva que propicia conforto térmico e diminui a taxa metabólica a um nível mínimo em que o animal mantém a sua temperatura corporal com o mínimo esforço de seus termorreguladores (FURLAN, 2006).

Segundo BAÊTA & SOUZA (2010), o conforto térmico é ocasionado no ambiente em que não existe sensação de frio ou calor e o desempenho do animal em qualquer atividade é otimizado.

Em condições de estresse térmico as aves tentam ajustar a troca de calor com o meio ambiente por meio de seus mecanismos termorreguladores, como pela exposição das partes mais vascularizadas do corpo, piloereção e vasodilatação ou vasoconstrição periférica (BAÊTA & SOUZA, 2010; LARA; ROSTAGNO, 2013).

Desta forma, as aves submetidas em condições de estresse térmico por altas e baixas temperaturas do ar diminuem o consumo de ração para diminuir o seu metabolismo e aliviar o calor (BOIAGO et al., 2013), e consequente, reduzindo o desempenho e consequentemente a produção (SCHIASI, 2013).

Por sua vez, em condições de conforto térmico, as aves podem atingir o seu potencial de desempenho genético (ABREU & ABREU, 2011). A Tabela 1 lista as temperaturas crítica inferior (TCI) e crítica superior (TCS) para frangos de corte durante as diversas semanas de vida.

Tabela 1 - Temperatura crítica inferior (TCI) e superior (TCS) para as sete semanas de vida de frangos de corte.

Fase (Semana)	Idade (dias)	TCI (°C)	TCS (°C)
Primeira	01 a 07	32	34
Segunda	08 a 15	28	32
Terceira	16 a 22	26	28
Quarta	23 a 29	24	26
Quinta	30 a 36	18	24
Sexta	37 a 43	18	24
Sétima	44 a 49	18	21

Fonte: STAUB et al. (2006) e OLIVEIRA et al. (2012)

3.3 Índices de avaliação do ambiente térmico

Pesquisas científicas voltadas para determinação do ambiente térmico da ave em relação ao ambiente onde estão inseridas, baseadas nas variáveis (temperatura do ar, temperatura de globo negro, temperatura de bulbo úmido, umidade relativa do ar e velocidade do ar) são capazes de determinar a condição de sensação térmica aproximada da ave em seu ambiente. A literatura propõe índices que podem ser aplicados, porém, os mais utilizados são o índice de temperatura e umidade (ITU) (THOM, 1959) e o índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) (BUFFINGTON, 1981).

3.3.1 Índice de temperatura e umidade (ITU)

O Índice de Temperatura e Umidade (ITU) é calculado em função das temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido do ar (equação 1) (THOM, 1959), sendo um dos índices utilizados segundo a literatura para avaliação do conforto térmico no interior de instalações de frango de corte e outros sistemas de produção de proteína animal.

$$ITU = t_{bs} + 0,36 t_{po} - 41,5 \quad (1)$$

em que:

t_{bs} : temperatura de bulbo seco (°C);

t_{bu} : temperatura de bulbo úmido (°C).

3.3.2 Índice de temperatura do globo negro e umidade (ITGU)

De acordo com BAETA E SOUZA (1997), existem vários índices para avaliar o ambiente térmico dos animais, sendo que, um dos indicadores mais precisos é o índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU), proposto por BUFFINGTON et al. (1981). Esse índice foi desenvolvido com base no ITU, mas utiliza a temperatura de globo negro (T_{gn}) em substituição a temperatura de bulbo seco do ar (T_{bs}). Com esta alteração, o ITGU contém em uma única variável,

a temperatura de bulbo seco do ar, velocidade do ar e radiação térmica, na forma de t_{gn} (equação 2). A temperatura de ponto de orvalho (T_{po}), por sua vez, incorpora a pressão de vapor d'água e umidade relativa do ar (UR).

$$ITGU = t_{gn} + 0,36 t_{po} - 41,5 \quad (2)$$

em que,

t_{gn} = temperatura de globo negro (°C);

t_{po} = temperatura do ponto de orvalho (°C).

Os valores de ITGU para frangos de corte que caracterizam conforto térmico durante as fases de produção são listados na Tabela 2.

Tabela 2 - Intervalos de conforto térmico baseados no Índice de Temperatura do Globo Negro e Umidade (ITGU) para frangos de corte com idades de 1 a 7 semanas.

Idade (semanas)	Intervalo de ITGU
1 ^a	[77,00-81,30]
2 ^a	[74,90-76,55]
3 ^a	[69,80-70,75]
4 ^a	[68,85-69,00]
5 ^a	[68,85-69,00]
6 ^a	[68,85-69,00]
7 ^a	[68,31-68,70]

Fonte: (ALECRIM et al.,2017; STAUB *et al.*, 2016; OLIVEIRA *et al.*, 2006)

3.4 Climatização de aviários comerciais

O sistema mais aplicado em climatização em avicultura é a ventilação mecânica com pressão negativa realizada por meio de exaustores (BUSTAMANTE et al., 2017) com painel evaporativo nas entradas de ar, nebulizadores e aquecedores.

Pesquisas têm sido desenvolvidas envolvendo a climatização, como avaliação de diferentes tipos de ventilação (BUSTAMANTE et al., 2013; DE CARVALHO CURI et al., 2017), desenvolvimento de controladores para climatização na agricultura (NAKUTIS et al., 2016; SO-IN; POOLSANGUAN; RUJIRAKUL, 2014) e controladores inteligentes aplicados a climatização da produção de frango de corte (DE ALECRIM et al., 2017; MIRZAEI-GHALEH et al., 2015; SZESZ JUNIOR et al., 2016).

Ademais, diversos pesquisadores têm buscado melhorar as tecnologias aplicadas à climatização de aviários (LARA, ROSTAGNO, 2013; MOLLO NETO, 2013; COLLATTO et al., 2015; BUSTAMANTE et al., 2017).

Na produção de frango de corte são considerados sistemas de climatização àqueles que utilizam equipamentos como os exaustores, ventiladores, nebulizadores, sistema de aquecimento, painéis de resfriamento evaporativo e controladores, além de materiais isolantes (CURI et al., 2014; LIANG et al., 2014).

3.4.1 Ventilação

No Brasil a produção avícola é climatizada utilizando geralmente a ventilação mecânica (BUSTAMANTE et al., 2013). A temperatura de bulbo seco do ar é a principal variável meteorológica responsável pelo sucesso na produção de frangos de corte, sendo a ventilação o fator mais importante para alterar essa temperatura onde as aves estão alojadas (MENEGALI et al., 2013). A ventilação pode ser promovida por meio de um sistema de pressão positiva (ventiladores) ou de pressão negativa (exaustores) (MARTINS et al., 2016; TINÔCO et al., 2014).

Segundo Bustamante et al. (2013) o uso da ventilação artificial de forma adequada nos aviários de frangos de corte é de suma importância para o controle do ambiente (aéreo e térmico), influenciando diretamente no metabolismo das aves para que utilizem o mínimo de seus mecanismos termoregulatórios (ZARE MERHRJERDI et al., 2015).

3.4.2 Resfriamento evaporativo

O resfriamento evaporativo do ar é uma das técnicas de modificação ambiental artificial bastante difundida, que consiste em incorporar vapor d'água diretamente no ar, causando mudança no seu ponto de estado (elevando a umidade relativa e reduzindo a temperatura do ar). Esta técnica deve preferencialmente ser associada a sistemas de ventilação que, além de facilitar o controle da umidade no interior da instalação, proporciona melhor renovação do ar no interior da mesma. Em instalações agrícolas esse sistema é considerado mais vantajoso por apresentar baixo custo inicial e baixo custo operacional (BUSTAMANTE et al., 2013).

O resfriamento evaporativo em aviários de corte é promovido geralmente por nebulizadores ou placas evaporativas. Os nebulizadores podem ser usados em conjunto com sistemas de ventilação com pressões positiva ou negativa. Por sua vez, as placas de resfriamento evaporativo são usadas exclusivamente com sistemas de ventilação com pressão negativa.

3.4.3 Sistema de controle para climatização

Os sistemas de controle de climatização de aviários têm sido estudados por alguns autores (ALECRIM et al., 2017; MIRZAEI-GHALEH et al., 2015; LOPES et al., 2015). Entretanto, mais pesquisas são necessárias a fim de se obter sistemas de controle eficientes, de baixo custo e com acesso remoto às informações e ao próprio controle. OLIVEIRA & NÄÄS (2012) destacaram o uso da inovação e da tecnologia aplicada aos sistemas de controle do ambiente em aviário como um dos principais fatores responsáveis pelo bom resultado na produção de frangos de corte no Brasil.

No mercado existem vários controladores para os sistemas de ventilação e resfriamento evaporativo de aviários, sendo que, geralmente são de custo elevado e inviáveis para pequenos produtores. Esses controladores utilizam apenas a temperatura de bulbo seco do ar ou associada à umidade relativa do ar e, usam a lógica clássica para a realização do controle de sistemas. Controladores que utilizam inteligência artificial são menos frequentes, como os sistema *fuzzy* (DE ALECRIM et al., 2017) e as redes neurais artificiais (LOPES, 2015), sendo que, tem-se obtido resultados satisfatórios.

3.5 Hardware

3.5.1 Microcontroladores

Os microcontroladores são computadores de pequeno porte, contendo em um único circuito integrado, todas as funcionalidades de um computador de tamanho normal, com *Central Processing Unit (CPU)*, portas de entrada e de saída denominadas como a *GPIO (General Purpose Inputs and Outputs)*, memória volátil e não volátil e, conversores analógicos/digital e digital/analógico. Os microcontroladores podem ser encontrados em diversos setores da automação como o residencial, telefonia, controle de processos e robôs industriais.

Dentre os microcontroladores disponíveis no mercado, o *Raspberry Pi 3*, ilustrado na Figura 1, que foi lançado no ano de 2016 no Reino Unido, é o mais popular e potente. Este dispositivo foi desenvolvido com o objetivo principal de integrar facilmente funcionalidades no desenvolvimento de projetos eletrônicos, sendo que, possui todos os elementos centrais de um computador pessoal, disponibilizando assim, um computador simples de custo reduzido, para a população e para pesquisas de sistemas embarcados.

Figura 1 - *Raspberry Pi+Model B*



Fonte: *RASPBERRY Pi FOUNDATION* (2018)

O *Raspberry Pi* possui em seus componentes um processador com arquitetura *ARM* (arquitetura de 64 bits), uma *GPU (Graphics Processing Unit, ou Unidade Central de Processamento)* e 26 portas *input/output* denominadas como *GPIO* sendo estes pinos de *GPIO* programáveis como entrada ou saída de dados, onde se pode ligar outros equipamentos.

A captura de informações e atuação do sistema é composta pelo microcontrolador modelo *ESP8266*, que é um circuito integrado que possui todas as funcionalidades de um microcontrolador tipo *Arduino*, com a versatilidade e o poder de um módulo *Wifi* incluso no mesmo circuito. O

Microcontrolador modelo ESP8266 é o nome de um sistema embarcado projetado pela *Espressif System* (KOLBAN,2015).

Existem no mercado diversos tipos de modelos de placas que utilizam o microcontrolador ESP8266 como processador, diferenciando entre uma e outra o número de *GPIO*, quantidade e memória *flash* disponível, o estilo de pinos e conectores e várias outras considerações relacionadas ao desenvolvimento da placa. Porém, do ponto de vista de programação, eles são todos iguais (KOLBAN, 2015).

Esta placa possui entre seus componentes, o microcontrolador ESP8266, que vem sendo aplicado em diversos trabalhos científicos, que utilizam sistemas embarcados com inteligência artificial.

Portanto, os microcontroladores são dispositivos utilizados para automatizar processos, sendo que, várias pesquisas demonstram a utilização de microcontroladores para controle (ENCINAS et al., 2017; KIM; OH, 2017; KODALI; SAHU, 2016; KODALI; SORATKAL, 2017; SALLABI et al., 2011; SARANGI; UMADIKAR; KAR, 2016) de diversas atividades no agronegócio inclusive na produção animal. Estes dispositivos são de baixo custo, sendo usados no monitoramento de atividades agrárias (KIM; OH, 2017; KODALI; SAHU, 2016; PAUCAR et al., 2015; PUTJAIKA et al., 2016; SINGH; SAIKIA, 2017; SREEKANTHA; KAVYA, 2017b), como o monitoramento de produção agropecuária, de animais, de consumo energético e de alimentação e outros.

3.5.2 Raspberry Pi

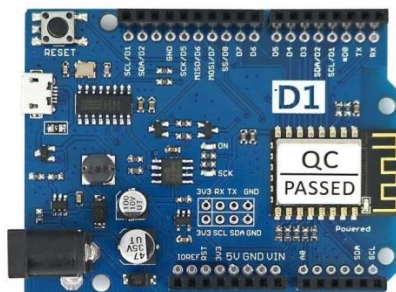
Raspberry Pi 3 é um computador de baixo custo amplamente comercializado e que executa várias versões gratuitas do sistema operacional Linux (*Raspbian, Pidora, Openlec, RaspBMC, RISC OS, ARCH LINUX*) (RASPBERRY PI FOUNDATION, 2016; SACHDEVA; KATCHII, 2014).

Além disso, o *Raspberry Pi* suporta várias linguagens de programação, como BASIC, C, C++, JAVA, JAVA SCRIPT, PYTHON, Perl e Ruby (RASPBERRY PI FOUNDATION, 2016).

3.5.3 Microcontrolador *Wemos R1*

O microcontrolador *Wemos D1 R1* (Figura 2) é uma placa composta do *chip* ESP8266 que possui conectividade *wifi*, 11 pinos digitais de entrada/saída, 1 entrada analógica, nível de sinal dos pinos de 3,3v, conector *micro usb* para alimentação e programação, aceita alimentação externa entre 9 e 24v, totalmente compatível com as bibliotecas do *Arduino* e compatível com o microcontrolador *NodeMCU* (KODALI; SAHU, 2016).

Figura 2 - Microcontrolador *Wemos*



Fonte: do Autor.

3.5.4 Microcontrolador *Wemos R1 Mini*

O *Wemos D1 Mini* Figura 3, é a menor microcontrolador que possui como processador ESP8266 dentre seus componentes centrais, possuindo 11 pinos Digitais *GPIO*, 1 entrada analógica e 16 *Mega Bytes* de memória *Flash*, antena cerâmica embutida (SHOFA *et al.*, 2017; MANOHAR *et al.*, 2017).

Figura 3 - Microcontrolador *Wemos D1Mini*



Fonte: do Autor.

3.5.5 Sensores de temperatura DHT22 e DS18B20

No comércio encontram-se alguns modelos de sensores de temperatura e umidade, o que difere entre eles é o modelo e precisão, o sensor DHT22 (Figura 4) efetua medições de temperatura entre -40 e 125 °C e de umidade relativa entre 0 e 100%. O DHT22 foi adotado por ser de custo baixo e por consumir pouca energia (2,5 mA, durante as medições e entre 100 e 150 μ A em *standby*). Este sensor é recomendado para leituras a cada 2 segundos e com precisão de $\pm 0,5$ °C, de acordo com seu *datasheet* (ELETROSCHEMATICS, 2015).

Figura 4 - Sensor de temperatura DHT22



Fonte: do Autor.

O sensor digital DS18B20 (Figura 5), que comunica por meio de um barramento 1-wire, no qual tem-se a facilidade de vários sensores se comunicar por apenas um fio devido a seu código único de 64 bits que é utilizado para comunicação, tem a precisão de $\pm 0,5$ °C de acordo com seu *datasheet*, sendo a prova de água e protegido por material metálico e fita térmica.

Figura 5 - Sensor de temperatura DS18B20



Fonte: do Autor.

3.6 Comunicação sem fio dispositivo para dispositivo (D2D)

Dispositivos conectados entre si, formam uma rede que se comunicam e possibilitam o compartilhamento de recursos e comunicação entre clientes. Existem dois tipos de redes, uma com fio e a outra sem fio. A primeira utiliza o fio para enviar informações e a segunda utiliza como meio de transmissão o ar (El-BENDARY, 2015). O envio de informações pelo ar, tem grandes vantagens sobre a transmissão com fio, como o baixo custo de manutenção por não possuir o meio físico (o fio como condutor de informações), a maior mobilidade, a melhor flexibilidade e a rápida implementação em casos especiais (XIAO et al., 2016).

A tecnologia de transmissão de informações sem fio, permite a instalação de sensores em ambientes remotos e adversos, e um menor custo-benefício em relação a redes tradicionais e facilidade de instalação (ILYAS et al., 2015).

Redes de sensores sem fio podem ser instaladas de forma discreta em um ambiente real, para capturar informações do local, tendo boa qualidade, causando perturbações apenas aos processos físicos observados (EL-BENDARY, 2015).

3.6.1 *Message Queue Telemetry Transport (MQTT)*

O protocolo de comunicação *MQTT*, desenvolvido pela IBM, é de código aberto para desenvolvedores, sendo um protocolo de comunicação baseado na tecnologia *Publisher/Subscriber* (Publicar e Assinar), para envio de mensagem entre máquinas ou dispositivos eletrônicos tipo *M2M* (Maquina para Maquina).

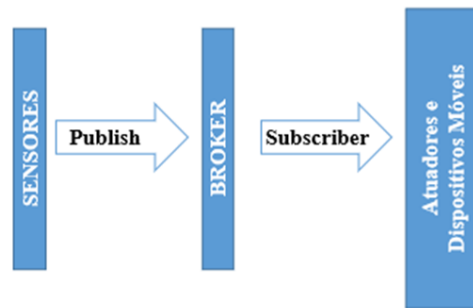
Devido a sua versatilidade e compatibilidade, o protocolo *MQTT* torna-se uma escolha ideal para comunicação entre componentes eletrônicos e automação de processos (LUZURIAGA et al., 2015; BULKUNDE et al., 2017).

Existem diversos trabalhos utilizando *MQTT* em setores distintos para o monitoramento ambiental (BELLAVISTA et al., 2017) e como sistema de controle (SCHULZ et al., 2014).

De acordo Asghar & Mohammadzadeh (2015), o protocolo *MQTT* demonstra ser ideal para dispositivos que possuem recursos computacionais limitados como os microcontroladores. Este protocolo pode ser usado para ambiente com dificuldade de acesso.

A Figura 6 ilustra o processo do protocolo *MQTT*, no qual um *Broker* (Gerenciador) que coordena os dados para o cliente que assinou o tópicos e recebe os dados do cliente que esta publicando no tópicos desejado.

Figura 6 - Protocolo *MQTT*



Fonte: do Autor.

Segundo Karagiannis et al (2015), o *MQTT* garante confiabilidade ao fornecer a opção de três níveis de QoS (*Quality of Service*) sendo escolhido o valor igual a 1, a mensagem é entregue no máximo uma vez ou não é entregue de modo algum, ou valor 2 a mensagem é sempre entregue pelo menos uma vez e o valor 3 a mensagem é sempre entregue exatamente uma vez. Para garantir a segurança, os *brokers* do *MQTT* podem exigir autenticação de nome de usuário e senha que é gerenciado por TLS/SSL (*Secure Socket Layer*), ou seja, mesmos protocolos de segurança que garantem privacidade das transações HTTP, em toda *Internet*.

De acordo com Swamy et al. (2017), o *MQTT* é o protocolo mais utilizado em aplicações *IOT* (*Internet of Things*) seja para controle ou automação de processos.

3.7 Agricultura digital

O conceito de agricultura digital (Agricultura 4.0) está inserido no cenário da Quarta Revolução Industrial, assim, a Indústria 4.0 surge para impactar todos setores do mercado, incluindo a agricultura, como em vários setores. Um dos maiores desafios é aumentar a produção utilizando recursos limitados, envolvendo técnicas, cálculos matemáticos usando aprendizado de máquinas, processamento de imagens com informações obtidas por meio de sensores instalados no campo e uso de imagens digitais.

Portanto, a otimização dos recursos na agricultura, resultará em uma propriedade rural automatizada, que utilizará diversos sensores que podem monitorar e atuar em toda a fazenda e sendo interligados à *internet*, sendo um *logger* de dados de toda propriedade e, desta forma, auxiliando o produtor na tomada de decisões. A tomada de decisões pode ser realizada por meio da inteligência artificial incorporada ao processo produtivo, visando melhorar os resultados da produção agropecuária.

Os sensores instalados na produção agrícola disponibilizam aos agricultores informações em tempo real permitindo tomadas de decisões mais corretas (DE WILDES, 2016). Esses dados são capturados pelos sensores em tempo real, em grande quantidade, são denominados de *big data* (MASSRUHÁ, 2015).

Com essa grande quantidade de informações, suficientes para se obter precisão de análise e de processamento adequado, poder-se-á ter a renovação completa na maneira de gerenciar a produção em larga escala no meio agrícola (BRONSON; KNEZEVIC, 2016).

Para esse propósito, sistemas inteligentes de computação obtêm expressivas quantidades de informações relevantes para base de conhecimento e aplicações posteriores direcionadas e auxílio a tomadas de decisão do produtor agrícola.

Grandes corporações multinacionais fundem conhecimentos de tecnologia da informação com agropecuários, tal como a Bayer, que investe R\$ 100 milhões para o desenvolvimento de um sistema que interligará todas as áreas da cadeia produtiva (MASSRUHÁ, 2015). Da mesma forma, a IBM despende bilhões de dólares para que nos próximos anos seja desenvolvida uma plataforma para coleta e processamento de informações em tempo real, para aplicação na *Internet das Coisas* em toda a cadeia produtiva agrícola (MASSRUHÁ, 2015).

De acordo com CEMA (2017) a agricultura digital, descreve a evolução da agricultura de precisão a uma agricultura conectada e baseada no conhecimento, auxiliando o produtor na tomada de decisões ou até mesmo gerenciando de forma automática e inteligente a produção agrícola.

Dessa forma, a Agricultura 4.0 irá gerar grande impacto na forma como os alimentos são produzidos e de uma forma sustentável por meio da melhoria e na eficiência do uso de insumos e recursos naturais. Conseqüentemente, esses fatores resultarão em diminuição dos impactos ao meio ambiente, tornando a atividade mais sustentável e produtiva.

3.7.1 Inteligência artificial *fuzzy*

A inteligência artificial está sendo empregada no setor agrícola e mostrando que é eficiente para diversas finalidades como a classificação, generalização e outras atividades no setor da agricultura (HUANG; ZHANG, 2017; LIU et al., 2016; OWADA et al., 2007; SREEKANTHA; KAVYA, 2017b; SZESZ JUNIOR et al., 2016).

Pesquisas têm demonstrado a aplicação em controladores inteligentes no setor agrário (DE ALECRIM et al., 2017; FERREIRA et al., 2012; MIRZAEI-GHALEH et al., 2015; PUTJAIKA et al., 2016; SZESZ JUNIOR et al., 2016), indicando ser uma alternativa viável ao método clássico, e que, de forma inteligente possa controlar o processo de produção agrícola e auxiliar o produtor para tomadas de decisão em sua produção para que o processo produtivo seja mais eficiente.

A lógica *fuzzy*, proposta pelo professor Lotfi Asker Zadeh do Departamento de Engenharia Elétrica e Eletrônica (ZADEH, 1965), permite o tratamento de expressões que englobe grandezas descritas de forma não exata para aplicação em sistemas de controle por meio da utilização da teoria e conceitos dos conjuntos *fuzzy*, atribuindo um grau de pertinência no intervalo entre 0 e 1, em que a certeza é representada pelo valor numérico 1. Desta forma, determina-se um grau de pertinência à variável. Comparando com a lógica clássica booleana, é um diferencial que estabelece dois valores, verdadeiro ou falso, não havendo números intermediários (SIVANANDAM et al., 2007).

Os conceitos e técnicas *fuzzy* podem ser aplicadas para controlar sistemas no qual incidirá melhorias em diversas variáveis do processo de controle, como desempenho mais simples, mais produtivo, custo reduzido do processo de controle e a utilização de conhecimento de especialistas na área de aplicação e dados sobre um determinado processo para desenvolver um algoritmo que busca aproximar a experiência humana de raciocínio, com base em regras geradas com a utilização de controladores de fluxo do algoritmo tipo “Se” (Condição) e “Então” (ação), mesmo não utilizando modelos matemáticos (IBRAHIM, 2004).

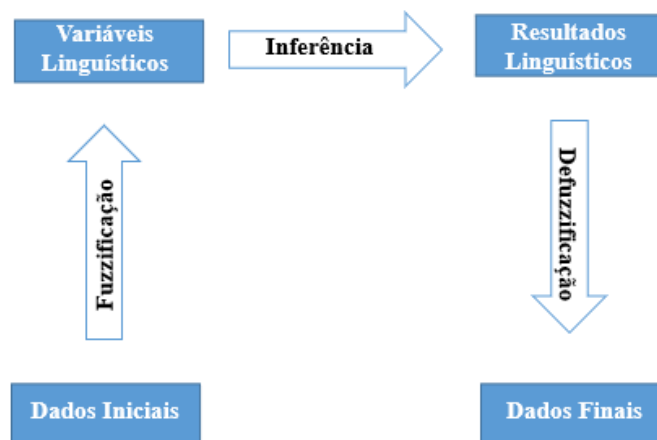
Segundo Zadeh (1965), no sistema *fuzzy*, em geral, o controlador *fuzzy* é baseado em regras elaboradas com referência na experiência de profissionais especialistas na área de aplicação do controlador. Estas regras são definidas da seguinte forma:

Se <antecedente (s) > **então** <consequente (s) >

O antecedente e consequente de uma regra *fuzzy* são proposições contendo variáveis linguísticas (ZADEH, 1965).

As regras acima citadas são a base de conhecimento de um sistema *fuzzy* (LEAL, 2011), sendo que, os componentes de fuzzificação, inferência e defuzzificação completam o sistema de raciocínio *fuzzy*, no qual cada um possui uma tarefa específica (Figura 7).

Figura 7 - Esquema Ilustrativo de um sistema *fuzzy*



Fonte: do Autor.

O componente fuzzificação recebe o conjunto de entradas e a inferência utilizando de regras geradas por especialistas, infere com base nos dados de entrada e, em seguida, o componente de defuzzificação converte a inferência para um valor numérico conhecido como grau de pertinência, e demonstra o resultado em figura linguística (ZADEH, 1965).

De acordo com Simões e Shaw (2007), a lógica *fuzzy* foi implementada com o intuito de se obter um sistema capaz de expressar de maneira sistemática quantidades imprecisas. Os controladores industriais implementados com a lógica *fuzzy*, podem incorporar o conhecimento de

especialistas humanos já treinados, transformando a sua aplicação para controle tão boa quanto a dos humanos e de forma rápida e precisa.

3.7.2 Inferência tipo Mandani

O método de inferência Mandani (MANDANI, 1976) retorna, como resposta um conjunto *fuzzy* originado da combinação das variáveis de entrada com seus respectivos graus de pertinência, por meio do operador mínimo e em seguida pela superposição das regras, com o auxílio do operador máximo. O método de inferência de Mandani tem sido utilizado em diversos sistemas *fuzzy* desenvolvidos (PONCIANO et al., 2012; LIN et al.; 2013; MÚNERA BEDOYA et al., 2015; SCHIASSI et al., 2015).

3.7.3 *Embedded Logic Fuzzy Library (eFLL)*

A biblioteca *eFLL (Embedded Logic Fuzzy)*, implementada, testada e analisada pelo laboratório de informática aplicada (LAIC), na Universidade do Piauí (KRIDI et al., 2013), em sistemas embarcados tem apresentado bons resultados.

Segundo Kridi et al. (2013), a *eFLL* possui limitação de 3 variáveis, sendo duas de entrada e uma de saída, e possui 4 classes, chamadas de *Fuzzy*, *FuzzySet*, *FuzzyRule* e *FuzzyComposition*, que se relacionam entre si e possuem tarefas específicas cada classe.

A biblioteca *eFLL* foi utilizada em outros trabalhos para controladores *fuzzy* embarcado (FARIAS et al., 2015; SOWAH et al., 2014) e segundo o trabalho desenvolvido por estes autores a biblioteca *eFLL* demonstrou ser eficiente, de fácil implementação, intuitiva e rápida.

4 Considerações finais

Atualmente setores da indústria, comércio e agrários estão vivenciando uma mudança, na qual, para se produzir visando atender a demanda para um futuro próximo, verifica-se que os métodos clássicos de controle de produção não serão suficientes, como indicam alguns trabalhos científicos.

A automação dos processos agroindustriais, a captação de dados, o controle de variáveis do processo, o armazenamento de dados do processo, a aplicação de *internet* das coisas e a inteligência artificial têm sido usadas para o auxílio à diversos setores produtivos, inclusive na produção de frangos de corte, sendo, neste último caso, denominada de avicultura 4.0.

Neste contexto, a busca por aumento da eficiência na produção de proteína animal e na tomada de decisão no controle da ambiência térmica de frangos de corte, torna-se necessário o investimento em estudos que viabilizem a automação e aplicação de inteligência artificial na produção avícola.

REFERÊNCIAS

ABPA – **Associação Brasileira de Proteína Animal**. Relatório Anual de 2016. Disponível em: <http://www.abpa.com.br/publicacoes>. Acesso em: 10 de Agosto de 2019

ABREU, Lucas HP et al. FUZZY MODEL FOR PREDICTING CLOACAL TEMPERATURE OF BROILER CHICKENS UNDER THERMAL STRESS. **Engenharia Agrícola**, v. 39, n. 1, p. 18-25, 2019.

ABREU, L.H.P., YANAGI JUNIOR, T., FASSANI, Ã.J., CAMPOS, A.T., LOURENÇONI, D., 2015. Fuzzy modeling of broiler performance, raised from 1 to 21 days, subject to heat stress. **Eng. Agrícola**35, 967-978.

ABREU, V. M. N. **Os desafios da ambiência sobre os sistemas de aves no Brasil**, Revista Brasileira de Zootecnia v. 40, n. 3, p1-14, 2011.

ABORISIDADE, D. O. Poultry house temperature control using Fuzzy-PID controller. **International Journal of Engineering Trends and Tecknology (IJETT)**, Chennai, v. 11, n. 6, p.310-314, 2014.

ASGHAR, M. H.; MOHAMMADZADEH, N. Design and simulation of energy efficiency in node based on MQTT protocol in Internet of Things. In: **Green Computing and Internet of Things (ICGCIoT), 2015 International Conference on**. IEEE, p. 1413-1417, 2015.

BAÊTA, F. C.; SOUZA, C. F. **Ambiência em edificações rurais - Conforto animal**. Viçosa, 246 p. 2010.

BARBOSA, C. F. et al. Commercial Preslaughter Blue Light Ambience for Controlling Broiler Stress and Meat Qualities. **BRAZILIAN ARCHIVES OF BIOLOGY AND TECHNOLOGY**, v. 56, n. 5, p. 817–821, 2013.

Bellavista, Paolo, Carlo Giannelli, and Riccardo Zamagna.. **The Pervasive Environment Sensing and Sharing Solution**. Sustainability 9; 2017.

BEECHAM. Towards Smart Farming: Agriculture Embracing the IoT Vision. **Beechham Research**, v. 44, n. 0, p. 6, 2014.

BOIAGO, M. M.; BARBA, H.; SOUZA, P. A.; SCATILINI, A. M.; FERRARI, F. B.; GIAMPIETRO-GANECO, A. Desempenho de frangos de corte, alimentados com dietas contendo diferentes fontes de selênio, zinco e manganês, criados sob condições de estresse térmico. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 65, n. 1, p. 241-247, 2013.

BRONSON, K.; KNEZEVIC, I. **Big Data in food and agriculture**. Big Data & Society, v. 3, n. 1, p. 2053951716648174, 2016.

BUENO, Leda et al. Comparação entre tecnologias de climatização para criação de frangos quanto a energia, ambiência e produtividade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 2006.

BULKUNDE, K. et al. **Landmark Recognition using Image processing with MQTT protocol**. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), v. 04, p. 2405-2407, 2017.

BUFFINGTON, D. E.; COLAZO-AROCHO, A.; CANTON, G. H. Black globe humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. **Transaction of American Society of Agricultural Engineering**, v. 24, p. 0711-0714, 1981.

BUFFINGTON, D. E., COLLIER, R.J., CANTON, G.H. Shade management systems to reduce heat stress for dairy cows in hot, humid climates. *Transactions of the A.S.A.E*, n. 26, p. 1798-1802, 1983.

BUSTAMANTE, E. et al. Exploring Ventilation Efficiency in Poultry Buildings: The Validation of Computational Fluid Dynamics (CFD) in a Cross-Mechanically Ventilated Broiler Farm. **ENERGIES**, v. 6, n. 5, p. 2605-2623, 2013.

BUSTAMANTE, E. et al. Measurement and numerical simulation of single-sided mechanical ventilation in broiler houses. **BIOSYSTEMS ENGINEERING**, v. 160, p. 55-68, 2017.

CAMBRA, C., et al. **An IoT service-oriented system for agriculture monitoring.** In *IEEE International Conference on Communications*. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., p. 1-6, .2017 disponível em: <https://doi.org/10.1109/ICC.2017.7996640> Acesso em: 15 de agosto de 2019

CASSUCE, D. C.; TINOCO, I. D. F.; BAETA, F. C.; ZOLNIER, S.; CECON, P. R.; VIEIRA, M. D. A. Thermal Comfort Temperature Update for Broiler Chickens up to 21 Days of Age. **Engenharia Agrícola**, v. 33, n. 1, p. 28-36, 2013.

CEMA. **Digital Farming: what does it really mean? And what is the vision of Europe's farm machinery industry for Digital Farming?** CEMA aisbl-European Agricultural Machinery, 2017.

COLLATTO, D. C. et al. Ambientes na produção de frango de corte no sul do Brasil: uma Análise Multicritério. **Anais do XLVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (SBPO)**, p. 12, 2015.

CORDEIRO, M. B. **Conforto térmico e desempenho de pintos de corte submetidos a diferentes sistemas de aquecimento no período de inverno.** Revista Brasileira de Zootecnia, v. 39, n. 1, p. 217-224, 2010.

CURTIS, S. E. **Environmental management in animal agriculture.** Ames: The Iowa State University, p. 410, 1983.

DE ALECRIM, P. D. et al. Low cost fuzzy system applied to the control and supervision of thermal environment in poultry farms. **Engenharia Agrícola**, v. 37, n. 1, p. 194–205, 2017.

DE CARVALHO CURI, T. M. et al. Positioning of sensors for control of ventilation systems in broiler houses: a case study. **Scientia Agricola**, v. 74, n. 2, p. 101–109, 2017.

DE WILDE, S. **The future of technology in agriculture.** The Netherlands Study Centre for Technology Trends. STT publication no. 81, 2016.

ELETROSSCHEMATICS. **Sensor de temperatura e umidade DHT22.** Acesso em: 15 de agosto 2019, <http://electroschematics.com/wp-content/uploads/2015/02/DHT22-datasheet.pdf>.>

EL-BENDARY, M. A. M. M. K. **Developing security tools of WSN and WBAN networks applications.** [s.l: s.n.]v. 316, 2015.

ENCINAS, C. et al. **Design and implementation of a distributed IoT system for the monitoring of water quality in aquaculture.** 2017 WIRELESS TELECOMMUNICATIONS SYMPOSIUM (WTS). **Anais...:** Wireless Telecommunications Symposium.345 E 47TH ST, NEW YORK, NY 10017 USA: IEEE, 2017.

FERREIRA, L. et al. A fuzzy system for cloacal temperature prediction of broiler chickens. **Ciência Rural**, v. 42, n. 1, p. 166–171, 2012.

GHEORGHE, D. **IoT Contribution to Sustainable Plant and Animal Production**. (Soliman, KS, Ed.) SUSTAINABLE ECONOMIC GROWTH, EDUCATION EXCELLENCE, AND INNOVATION MANAGEMENT THROUGH VISION 2020, VOLS I-VII. **Anais...34 E** GERMANTOWN PIKE, NO. 327, NORRISTOWN, PA 19401 USA: INT BUSINESS INFORMATION MANAGEMENT ASSOC-IBIMA, 2017.

GILL, S. S.; CHANA, I.; BUYYA, R. IoT Based Agriculture as a Cloud and Big Data Service: The Beginning of Digital India. **Journal of Organizational and End User Computing**, v. 29, n. 4, p. 1-23, 2017.

GRGIĆ, K.; ŠPEH, I.; HEDI, I. **A web-based IoT solution for monitoring data using MQTT protocol**. Proceedings of 2016 International Conference on Smart Systems and Technologies, SST 2016. **Anais...2016**.

HUANG, J.; ZHANG, L. **The Big Data Processing Platform for Intelligent Agriculture**. (Liu, L and Xiao, J and Ke, J, Ed.) GREEN ENERGY AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT I. **Anais...: AIP Conference Proceedings.2** HUNTINGTON QUADRANGLE, STE 1N01, MELVILLE, NY 11747-4501 USA: AMER INST PHYSICS, 2017.

IBRAHIM, M. A. **Fuzzy Logic for Embedded Applications**. Editora Elsevier. Burlington, MA, USA. 2004.

ILYAS, M.; ALWAKEEL, S. S.; ALWAKEEL, M. M.; AGGOUNE, el-H. M. **Sensor Networks for Sustainable Development**. [s.l: s.n.]v. 1, 2015.

KARAGIANNIS, Vasileios et al. A survey on application layer protocols for the internet of things. **Transaction on IoT and Cloud Computing**, v. 3, n. 1, p. 11-17, 2015.

KHATTAB, A.; ABDELGAWAD, A.; YELMARTHI, K. **Design and implementation of a cloud-based IoT scheme for precision agriculture**. Proceedings of the International Conference on Microelectronics, ICM. **Anais...**2017.

KIM, B.; OH, S. Sensors Control of Smart Farm System Using Gateway Based on Raspberry Pi. **Advanced Science Letters**, v. 23, n. 3, p. 1533–1537, mar. 2017.

KODALI, R. K.; MAHESH, K. S. **Low cost ambient monitoring using ESP8266**. Proceedings of the 2016 2nd International Conference on Contemporary Computing and Informatics, IC3I 2016. **Anais...**2016.

KODALI, R. K.; SAHU, A. **An IoT based weather information prototype using WeMos**. Proceedings of the 2016 2nd International Conference on Contemporary Computing and Informatics, IC3I 2016. **Anais...**2016.

KODALI, R. K.; SORATKAL, S. R. **MQTT based home automation system using ESP8266**. IEEE Region 10 Humanitarian Technology Conference 2016, R10-HTC 2016 - Proceedings. **Anais...**2017.

KRIDI, D. S. *et al.* **Desenvolvimento de uma biblioteca fuzzy para o controle autônomo de um robô móvel em ambiente desconhecido**. *Mostra Nacional de Robótica*, v. 1, 2013.

LARA, L. J.; ROSTAGNO, M. H. **Impact of heat stress on poultry production** *Animals*, 2013.

LEAL, L. B. **Uma abordagem para Estimação da Qualidade de Rotas em Rede de Sensores Sem Fio Multi-Sink Baseada em Sistemas Fuzzy Genéticos**. Dissertação de Mestrado em Informática Aplicada. Universidade de Fortaleza, 2011.

LEE, I.; LEE, K. The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises. **Business Horizons**, v. 58, n. 4, p. 431–440, 2015.

LIN, C. S., YEH, P. T., CHEN, D. C., CHIOU, Y. C., & LEE, C. H. The identification and filtering of fertilized eggs with a thermal imaging system. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 91, p. 94-105, 2013.

LIU, D. et al. **Intelligent agriculture greenhouse environment monitoring system based on IOT technology**. Proceedings - 2015 International Conference on Intelligent Transportation, Big Data and Smart City, ICITBS 2015. **Anais...**2016.

LOPES, A. Z. **Contribuições para desenvolvimento sustentável de um sistema de monitoramento e controle de galpões para frango de corte** / Alison Zille Lopes. – Campinas, SP: [s.n.], 2015.

LUZURIAGA, Jorge E. et al. Handling mobility in IoT applications using the MQTT protocol. In: **Internet Technologies and Applications (ITA), 2015**. IEEE, p. 245-250, 2015.

MANDANI, E. H. Advances in the linguistic synthesis of fuzzy controllers. **International Journal of Man-Machine Studies**, London, v. 8, n. 6, p. 669-678, 1976.

MANOHAR, Hansa Lysander; ASIR, T. Reuban Gnana. Data Consumption Pattern of MQTT Protocol for IoT Applications. In: **International Conference on Intelligent Information Technologies**. Springer, Singapore, p. 12-22, 2017.

MASSRUHÁ, S. M. F. S. **O papel na agricultura**. AgroANALYSIS, v.35, n.9, p. 29-31, 2015.

MARTINS, Calebe Liberal - **DESEMPENHO DE FRANGOS DE CORTE SUBMETIDOS A DIFERENTES SISTEMAS DE TROCAS DE AR**, Caderno de resumos do Salão de Pesquisa e Iniciação Científica do CEULS ULBRA Santarém: Caminhos para a pesquisa no Ensino Superior. (n. 16, 2016) / Centro Universitário Luterano de Santarém. CEULS/ULBRA, p. 152, 2016.

MENEGALI, I. et al. Behavior of environmental variables on minimum ventilation systems for the production of broiler chickens. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 1, p. 106–113, 2013.

MEOLA, A. **Why IoT, Big Data & Smart Farming is the Future of Agriculture - Business Insider Deutschland**. Acesso em: <<http://www.businessinsider.de/internet-of-things-smart-agriculture-2016-10?r=US&IR=T>>.

MIRZAEI-GHALEH, E. et al. Comparison of fuzzy and on/off controllers for winter season indoor climate management in a model poultry house. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 110, p. 187–195, 2015.

MOLLO NETO, Mario. Protótipo de processamento digital de imagens para controle automático de temperatura na produção intensiva de frango de corte. **Reverte-Revista de Estudos e Reflexões Tecnológicas da Faculdade de Indaiatuba**, n. 11, 2013.

NAKUTIS, Z. et al. **Remote Agriculture Automation Using Wireless Link and IoT Gateway Infrastructure**. Proceedings - International Workshop on Database and Expert Systems Applications, DEXA. **Anais...**2016.

OLIVEIRA, R. F. M. DE *et al.* Efeitos da temperatura e da umidade relativa sobre o desempenho e o rendimento de cortes nobres de frangos de corte de 1 a 49 dias de idade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, p. 797–803, 2006.

OSTI, R; BHATTARAI, D; ZHOU, D. Climatic Variation: Effects on Stress Levels, Feed Intake, and Bodyweight of Broilers. **Rev. Bras. Cienc. Avic.**, Campinas, v. 19, n. 3, p. 489-496, Sept. 2017.

OWADA, A. N. et al. Estimativa de bem-estar de frango de corte em função da concentração de amônia e grau de luminosidade no galpão de produção. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 3, p. 611–618, 2007.

PAUCAR, L. G. et al. **Decision support for smart irrigation by means of wireless distributed sensors**. Mediterranean Microwave Symposium. **Anais...**2015.

PONCIANO, P. F.; YANAGI JUNIOR, T.; SCHIASSI, L. Sistema fuzzy para predição do desempenho produtivo de frangos de corte de 1 a 21 dias de idade. **Engenharia Agrícola**, v. 32, n. 3, 2012.

PONCIANO, Patrícia Ferreira et al. Sistema fuzzy para predição do desempenho produtivo de frangos de corte de 1 a 21 dias de idade. **Engenharia Agrícola**, v. 32, n. 3, 2016.

PRODUCTION MANAGEMENT SYSTEMS, 2012, Rhodes. **Anais...**Competitive Manufacturing for Innovative Products and Services: proceedings, Greece: Internacional Federation for Information Processing, 2012.

PUTJAIKA, N. et al. **A control system in an intelligent farming by using arduino technology.** Proceedings of the 2016 5th ICT International Student Project Conference, ICT-ISPC 2016. **Anais...2016**

KOLBAN, Neil. **Kolban's Book on ESP8266.** Texas, USA. 2015.

RASPBERRY PI FOUNDATION. **RASPBERRY PI.** RASPBERRY PI FOUNDATION. Raspberry Pi 3 Model B. **Datasheet**, 2016.

RAY, P. P. Internet of things for smart agriculture: Technologies, practices and future direction. **JOURNAL OF AMBIENT INTELLIGENCE AND SMART ENVIRONMENTS**, v. 9, n. 4, p. 395-420, 2017.

RODRIGUES, W. O. P. **Evolução da avicultura de corte no Brasil**, ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.10, n. 18; p. 2014

SACHDEVA, P.; KATCHII, S. A Review Paper on Raspberry Pi. **International Journal of Current Engineering and Technology**, v. 381844, n. 66, p. 3818-3819, 2014.

SALLABI, F. et al. Design and implementation of an electronic mobile poultry production documentation system. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 76, n. 1, p. 28-37, 2011.

SARANGI, S.; UMADIKAR, J.; KAR, S. Automation of Agriculture Support Systems using Wisekar: Case study of a crop-disease advisory service. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 122, p. 200-210, mar. 2016.

SCHIASSI, L. **Desempenho e comportamento de frangos de corte em tuneis de vento climatizados**. 2013. 78p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

SCHIASSI, Leonardo et al. Modelagem Fuzzy aplicada na avaliação do desempenho de frangos de corte. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 19, n. 2, 2015

SCHIASSI, LEONARDO et al. Comportamento de frangos de corte submetidos a diferentes ambientes térmicos. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 3, p. 390-396, 2015.

SCHULZ, Mark; CHEN, Feng; PAYNE, Len. Real-time animation of equipment in a remote laboratory. In: **2014 11th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV)**. IEEE, p. 172-176, 2014.

SHOFA, N.; RAKHMATSYAH, A.; KARIMAH, S. A. Infusion monitoring using WiFi (802.11) through MQTT protocol. In: **Information and Communication Technology (ICoIC7), 2017 5th International Conference on**. IEEE, p. 1-7, 2017.

SIMOES, M. G., SHAW, I. S. **Controle e Modelagem Fuzzy**. 2. Ed. São Paulo: Edgard Blucher, Fapesp, 112 p., v. 2, 2007.

SINGH, P.; SAIKIA, S. **Arduino-based smart irrigation using water flow sensor, soil moisture sensor, temperature sensor and ESP8266 WiFi module**. IEEE Region 10 Humanitarian Technology Conference 2016, R10-HTC 2016 - Proceedings. **Anais...2017**

SIVANANDAM, S. N; SUMATHI, S; DEEPA, S. N. Introduction to Fuzzy Logic using MATLAB. Indian. ISBN-13:978-3540357803 ISBN-10: 3540357807 Edition: 2007.

SOWAH, R. et al. **Hardware module design of a real-time multi-sensor fire detection and notification system using fuzzy logic.** 2014, [S.l: s.n.], 2014. p. 1–6.

SO-IN, C.; POOLSANGUAN, S.; RUJIRAKUL, K. A hybrid mobile environmental and population density management system for smart poultry farms. **Computers and electronics in Agriculture**, v. 109, p. 287-301,2014.

SREEKANTHA, D. K.; KAVYA, A. M. **Agricultural Crop Monitoring using IOT- A Study.** PROCEEDINGS OF 2017 11TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENT SYSTEMS AND CONTROL (ISCO 2017). **Anais...**345 E 47TH ST, NEW YORK, NY 10017 USA: IEEE, 2017a

SREEKANTHA, D. K.; KAVYA, A. M. **Agricultural crop monitoring using IOT - A study.** Proceedings of 2017 11th International Conference on Intelligent Systems and Control, ISCO 2017. **Anais...**2017b

STAUB, L. et al. Ambiência interna e externa em galpão de frangos de corte nas diferentes épocas do ano e fases de criação. **Nativa**, v. 4, n. 3, p. 128-133, 2016.

SZESZ JUNIOR, A. et al. Embedded system in Arduino platform with Fuzzy control to support the grain aeration decision. **Ciência Rural**, v. 46, n. 11, p. 1917–1923, 2016.

SWAMY, S. N.; JADHAV, D.; KULKARNI, N. Security threats in the application layer in IOT applications. In: **I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud) (I-SMAC), 2017 International Conference on**. IEEE, 2017. p. 477-480.

TINÔCO, I. F. F.; SOUZA, C. F.; BAETA, F. C.; COELHO, D. J. R.; MENDES, M. A. S. A. Ambiência e Instalações na avicultura de Postura Brasileira – Avanços e Perspectivas. **Animal Business Brasil**, Rio de Janeiro, v.4, n. 14, p. 6-9, 2014.

ZADEH, L. A. **Fuzzy sets**. *Information and Control*, v. 8, n. 3, p. 338-353, 1965.

UBABEF – **União Brasileira da Avicultura**. Relatório Anual de 2016. Acesso em: <http://www.ubabef.com.br/publicacoes>. Acesso em: 10 de outubro de 2017

WU, H. et al. **A Secure System Framework for an Agricultural IoT Application**. (Park, JJ and Pan, Y and Yi, G and Loia, V, Ed.) **ADVANCES IN COMPUTER SCIENCE AND UBIQUITOUS COMPUTING**. **Anais...: Lecture Notes in Electrical Engineering**.2017

ZARE MEHRJERDI, M. R.; ZIAABADI, M.; AYATOLLAHI MERHRGARDI, A.; DAYANI, O. Comparison of fuzzy and on/off controller for winter season indoor climate management in a model poultry house. **Journal of Livestock Science and Technologies**, Foulum, v. 3, n. 1 p. 34-40, 2015.

ILYAS, M.; ALWAKEEL, S. S.; ALWAKEEL, M. M.; AGGOUNE, **el-H. M. Sensor Networks for Sustainable Development**. [s.l: s.n.]v. 1, 2016

SEGUNDA PARTE – ARTIGO

ARTIGO 1

**PROJETO DE UM SISTEMA SEM FIO BASEADO NA *WEB* E MULTIPLATAFORMAS
PARA O CONTROLE DO AMBIENTE TÉRMICO DE AVIÁRIOS PARA FRANGOS DE
CORTE USANDO INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL FUZZY E DISPOSITIVOS DE BAIXO
CUSTO**

1 Introdução

O setor avícola brasileiro iniciou na forma de subsistência familiar, não obtendo grandes resultados pois a tecnologia aplicada na área não era evoluída. Após alguns anos, com a vinda de novas genéticas e tecnologias a avicultura tornou-se importante para o setor comercial.

Nos últimos anos, o setor avícola brasileiro tem se destacado no cenário mundial, sendo, no ano de 2018, o primeiro exportador e segundo produtor mundial (USDA, 2019).

Dentre as várias causas de mortalidade na produção de frango de corte, destaca-se a falta de controle térmico do ambiente de produção, com condições térmicas acima ou abaixo da zona termoneutra das aves.

Diante deste cenário, tem-se buscado a adoção de tecnologias que possibilitem otimizar a produção e mitigar as perdas com o estresse térmico em todas fases de vida das aves (Barbosa et al., 2013; Lara e Rostagno, 2013).

Nas primeiras semanas de vida, o frango de corte pode ser comparado a um animal pecilotérmico, uma vez que a sua temperatura corporal acompanha as variações térmicas do ambiente. Este comportamento ocorre pelo fato de o sistema termorregulador das aves, nesta fase, não estar plenamente desenvolvido, além de não possuírem reserva energética suficiente para se adaptarem às variações do ambiente térmico. Posteriormente, essas aves, apesar de serem homeotérmicas, sofrem influência do ambiente térmico, especialmente devido aos altos valores de temperatura e umidade relativa do ar.

Os intervalos temperatura do ar que correspondem ao conforto térmico para frangos de corte, com idades variando de 1 a 49 dias, da primeira à sétima semana de vida das aves são de 32 a 35°C, 29 a 32 °C, 26 a 29 °C, 26 a 29 °C, 20 a 23 °C, 18 a 20°C e de 18 a 20°C, respectivamente (Abreu et al., 2015; Lourençoni et al., 2015; Ferraz et al., 2017; Paulino et al., 2019; Camargo et al., 2019).

O índice de conforto térmico mais adequado para países com clima tropical é o Índice de Temperatura do Globo e Umidade (ITGU), uma vez que esse índice incorpora os efeitos da temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do ar e radiação térmica.

Diversas pesquisas mostraram que o desconforto térmico em frangos de corte provoca uma série de consequências negativas para a produção, como a diminuição no consumo de ração, alteração no consumo de água, redução do crescimento, aumento do ritmo cardíaco e alteração da conversão alimentar, podendo ocasionar até mesmo a morte das aves (Ferreira et al., 2012; Lara e Rostagno, 2013). Desta forma, verifica-se a necessidade de se promover ambientes térmicos adequados para a produção avícola.

A inteligência artificial, por meio da lógica *fuzzy* (Zadeh, 1965), pode ser utilizada na produção avícola, possibilitando a obtenção de resultados satisfatórios (de Alecrim et al., 2017). Assim, o controlador baseado em inteligência artificial do tipo *fuzzy* constitui em alternativa ao método clássico para o gerenciamento de sistemas (Mohapatra e Lenka, 2016; Szesz Junior et al., 2016; Huang e Zhang, 2017), inclusive na avicultura (de Alecrim et al., 2017).

Alguns trabalhos têm reportado o uso da inteligência artificial embarcada em microcontroladores visando atuar na ambiência de sistemas (Sreekantha e Kavya, 2017; Stewart et al., 2017).

A implementação da inteligência artificial em conjunto com a *Internet of Things (IoT)*, auxilia diversos setores agrários, aprimorando não somente a capacidade física e de gestão da propriedade rural, mas também, na tomada de decisões. A *IoT* tem sido usada no monitoramento do solo, monitoramento animal e, em aplicações incorporadas a atuadores para controlar a irrigação, a aplicação de fertilizantes, o ambiente térmico e o controle de acessos. Os dados coletados pela *IoT* podem constituir bancos dados para análise posterior visando melhorar a tomada de decisão e aumentar a eficiência na produção (Phiri e Phiri, 2018).

Neste contexto, objetivou-se com o presente trabalho, desenvolver um controlador *fuzzy* embarcado em microcontrolador e um aplicativo *web* multiplataformas que comunique-se com o controlador *fuzzy* e atue no sistema de climatização de galpões para criação de frangos de corte.

2 Trabalhos relacionados

A inteligência artificial vem sendo aplicada em diversos setores na sociedade, sendo que, alguns exemplos urbanos são na otimização de consumo de energia em cidades (de Paz, 2016) e na previsão de consumo de energia elétrica residencial (Khoury et al., 2016), sendo que, todos obtiveram bons resultados.

Segundo Ponciano et al. (2011), monitorar e controlar a climatização empregando sistemas *fuzzy* apresentam erros inferiores a outras metodologias usualmente empregadas para predição de variáveis que incidem no conforto térmico dos frangos de corte, sendo, desta forma, uma metodologia que propicia melhor condição de bem-estar animal.

De acordo com Damasceno et al. (2017), os modelos *fuzzy* aplicados à estimativa da temperatura de conforto térmico para frango de corte, são tecnicamente viáveis para o controle do ambiente térmico e para evitar perdas de produtividade.

Por sua vez, no meio agrário, pesquisas têm sido desenvolvidas em diversas áreas de aplicação, como a utilização de sistema *fuzzy* embarcado para controlar a dispersão de ração para frangos de corte, cujos resultados se mostraram adequados para alimentações líquidas em todos parâmetros de resposta para dispersão de ração (Bala et al., 2019). Damasceno et al. (2017), concluíram que o uso de sistemas *fuzzy* para estimar o conforto térmico das aves evita perdas na produção. Lourençoni et al. (2019), propuseram um sistema *fuzzy* que permite a predição eficiente da média diária de consumo alimentar, ganho de peso, conversão alimentar e índice de eficiência produtiva de frangos. Comparando metodologias de predição, diversos autores concluíram que os sistemas *fuzzy* propiciam melhores precisões que modelos empíricos (Klaučo, 2019; Lourençoni et al., 2019; Abreu et al., 2019).

Desta forma, verifica-se que a lógica *fuzzy* é uma metodologia que propicia bons resultados, sendo uma alternativa para apoio às tomadas de decisão em diversos setores.

Para o monitoramento e controle do ambiente térmico em aviários, algumas pesquisas têm aplicado inteligência artificial. De Alecrim et al. (2017), desenvolveram um sistema *fuzzy*,

embarcado em microcontrolador PIC, para supervisão do ambiente e auxílio na tomada de decisão na climatização de 1 a 28 dias de vida das aves. Li et al. (2015), concluíram que o monitoramento de galpões de aves via *IoT* é confiável e econômico para a supervisão e tomada de decisões em função da temperatura do ar, umidade do ar e concentração de gases.

Com a finalidade de monitorar e controlar uma estufa para cultivo de tomates, Muangprathub et al. (2019), obtiveram economia de 30% no consumo de água e 80% em alguns nutrientes utilizados para produção em comparação a uma cultura aberta regular, recomendando o uso de *IoT* como uma metodologia de controle e que auxilia na tomada de decisão para agricultura de precisão.

Com toda esta evolução tecnológica da *IoT*, os dispositivos se tornam mais inteligentes, trazendo eficiência, economia, minimizando trabalho humano, com uma interação mais rápida com produtor e auxiliando o mesmo nas tomadas de decisão e no controle. Assim, com o desenvolvimento de pesquisas neste campo, a agricultura digital poderá dar suporte importante para a evolução da humanidade (Khanna e Kaur, 2019), além de auxiliar no suprimento da necessidade de produção de alimentos para a demanda crescente da população mundial.

Segundo Nawandar e Satpute (2019), a *IoT* tem um papel fundamental para a evolução da agricultura digital e inteligente. Ao adotar conceitos de *IoT* para implementar um controlador inteligente para irrigação, obteve-se uma economia de 67% no consumo de água na irrigação.

Assim, a *IoT* pode ser uma alternativa no suporte do gerenciamento moderno da produção de frangos de corte, como aplicados em diversos setores e com bons resultados de economia e eficiência.

3 Metodologia de pesquisa

3.1 Arquitetura do sistema

O sistema desenvolvido neste trabalho, além de usar da inteligência artificial para o auxílio à tomada de decisão da ambiência, aplica tecnologias de *IoT* para transmissão e acesso das informações e controle de forma remota em tempo real.

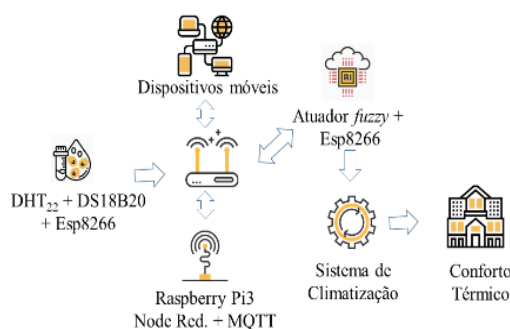
O sistema proposto é composto de *hardware* e *software*. O *hardware* é composto de componentes tangíveis, sendo os elementos físicos do sistema de controle inteligente, composto de placas, fios, sensores e atuadores. O *software* é a parte lógica intangível, que controla de forma inteligente com regras *fuzzy*, embarcadas utilizando a biblioteca *Embededd Fuzzy Logic Library - eFLL* (Kridi et al., 2013) e um algoritmo implementado utilizando *JavaScript* para as demais funções do aplicativo *web*.

A parte física (*hardware*) é composta de elementos eletrônicos, como os microcontroladores *Raspberry Pi3* e *ESP8266*, sendo quatro atuadores (relés) para acionamento dos dispositivos (podendo ser ampliado de acordo com o número de dispositivos a serem controlados na climatização) e um sensor de temperatura *DS18B20* para coleta de temperatura de globo negro (t_{gn}), um sensor de temperatura e umidade modelo *DHT22* (Arduino, 2015) para coletar a temperatura de bulbo seco do ar (t_{bs}) e umidade relativa do ar (UR), fonte de alimentação para cada dispositivo, conectores e dispositivos móveis para ter acesso ao aplicativo *web* e observar as informações coletadas, e controle manual.

O *Node-RED* (<https://nodered.org/>), que foi utilizado em diferentes trabalhos citados na literatura para implementações *web* (Krause, 2017; Liang et al., 2017; Davidson et al., 2019) se torna uma ferramenta adequada para agricultura digital e foi também aplicado neste trabalho, se tornando uma inovação tecnológica para *IoT*, *open-source* e multiplataforma para o setor de produção, transmissão da informação e controle agroindustrial como os apresentados nos trabalhos supracitados.

A arquitetura do sistema proposto é ilustrada na figura 1, sendo que, os algoritmos embarcados nos mesmos controlam todo o sistema, publicam no *Broker* (intermediário de comunicação) e armazenam em um banco de dados *MySQL*. Os dispositivos móveis (*SmartPhone*, *Tablet* ou *Notebook*) podem ser usados para acesso ao aplicativo *web* e para o controle manual do sistema que monitora, supervisiona e disponibiliza os dados coletados do ambiente no qual estão inseridos. Ademais, os usuários podem visualizar, em tempo real, a classificação *fuzzy* dada pelo controlador *fuzzy* para o ambiente térmico em função dos dados coletados e ter acesso ao estado (*ligado/desligado*) dos dispositivos climatização.

Figura 5 - Arquitetura do sistema.



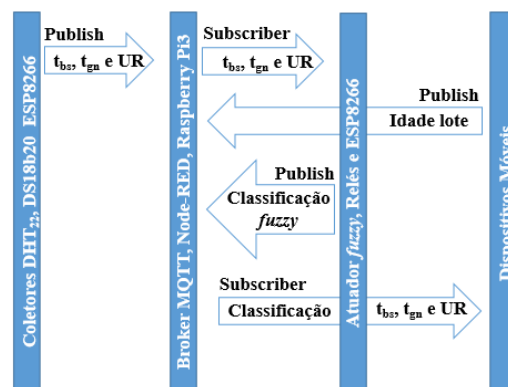
Fonte: Icon made by Eucalyp from www.flaticon.com

Fonte: Icon made by from www.flaticon.com

3.2 Fluxo de dados do sistema

No fluxo de dados do sistema (figura 2), os coletores (DHT22, DS18b20, ESP8266) transmitem *via MQTT*, a t_{bs} , t_{gn} e UR. A idade da produção é fornecida na tela do aplicativo *web*. A central recebe as variáveis e envia para os atuadores (Relés, ESP8266), que após classificação *via fuzzy*, atua na climatização do ambiente, sendo que, todas informações podem ser visualizadas na tela do aplicativo *web* em tempo real.

Figura 2 - Fluxo *UML* de variáveis do sistema.



Fonte: Do Autor

3.3 Elaboração dos conjuntos *fuzzy*

Adotou-se a lógica *fuzzy* tipo *Mandani*, sendo que, curvas de pertinência tipo triangulares e trapezoidais foram usadas para representar os intervalos de Índice de Temperatura do Globo Negro e Umidade (ITGU) e a idade das aves em dias de vida (Figura 3). De acordo com a literatura, as curvas de pertinência dos tipos triangular, trapezoidal e gaussiana usadas em sistemas *fuzzy* propiciaram resultados adequados de predição do consumo de ração médio diário, ganho de peso, conversão alimentar e índice de eficiência produtiva de frangos (Abreu et al., 2015; de Alecrim et al., 2017; Lourençoni et al., 2019).

Os valores usados para construir as curvas de pertinência trapezoidal e triangular de ITGU, Idade e Classificação *fuzzy* são listados nas tabelas 1, 2 e 3, respectivamente. Assim, para cada curva de pertinência, definiu-se os limites inferior inicial (LI_i), superior inicial (LS_i), superior final (LS_f) e o inferior final (LI_f).

Os valores de ITGU adotados foram divididos em cinco intervalos citados na literatura e que definem o conforto térmico para frangos de corte, que são: 76,55-81,66 (ITGU₇), 74,28-76,54 (ITGU₆), 72,00-74,27 (ITGU₅), 70,99-71,99 (ITGU₄), 69,99-70,98 (ITGU₃), 68,97-69,98 (ITGU₂) e 68,31-68,96 (ITGU₁) para as sete semanas de vida dos frangos de corte, respectivamente (Oliveira et al., 2006; de Alecrim et al., 2017).

Tabela 1 - Valores para curvas de pertinência *fuzzy* que definem o índice de temperatura do globo negro e umidade (ITGU).

Curva	Tipo	LI_i	LS_i	LS_f	LI_f
ITGU₁	Trapezoidal	-30	60	65	69
ITGU₂	Triangular	68	69	69	70
ITGU₃	Triangular	69	69,5	69,5	71
ITGU₄	Triangular	70	71,5	71,5	72
ITGU₅	Triangular	71,5	72	72	75
ITGU₆	Triangular	74	75	75	77
ITGU₇	Trapezoidal	76,5	80	82	90

Fonte: Do Autor (2019)

Tabela 2 - Valores para curvas de pertinência *fuzzy* que classifica a idade das aves (I).

Curva	Tipo	LI_i	LS_i	LS_f	LI_f
I₁	Trapezoidal	0	0	3	8
I₂	Triangular	7	9	9	15
I₃	Triangular	14	16	16	22
I₄	Triangular	21	24	24	28
I₅	Triangular	27	32	32	35
I₆	Triangular	34	39	39	42
I₇	Trapezoidal	41	45	49	49

Fonte: Do Autor (2019)

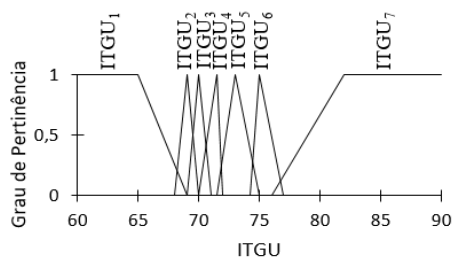
Tabela 3 - Valores para curvas de pertinência *fuzzy* que classifica o ambiente térmico.

Curva	Tipo	LI	LSi	LSr	LIr
MF	Trapezoidal	-100	0	8	16
F	Triangular	13	25	25	38
C	Triangular	33	45	45	58
Q	Triangular	55	66	66	78
MQ	Trapezoidal	73	90	100	150

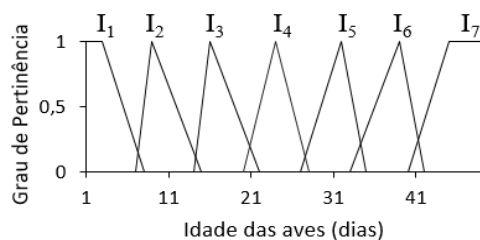
Muito Frio (MF), Frio (F), Confortável (C), Quente (Q) e Muito Quente (MQ).

Fonte: Do Autor (2019)

Figura 3 - Funções de pertinência *fuzzy* aplicadas às variáveis de entrada (a) Índice de Temperatura do Globo Negro e Unidade (ITGU) e (b) Idade das aves.



(a)

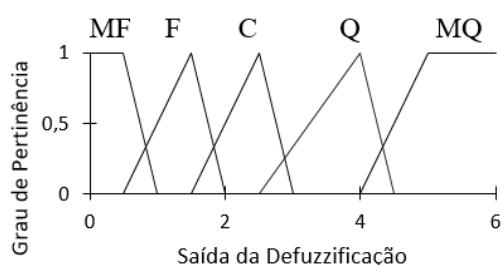


(b)

Fonte: Do Autor (2019)

Similarmente às variáveis de entrada, para a variável de saída, denominada classificação do ambiente térmico, adotou-se curvas de pertinência triangulares e trapezoidais (Figura 4). A defuzzificação foi realizada utilizando-se o método do centro de gravidade que considera todas possibilidades de saída transformando o conjunto *fuzzy* originado pela inferência em valor numérico, e assim obtendo a classificação do ambiente térmico, adotado como variáveis linguísticas Muito Frio (MF), Frio (F), Confortável (C), Quente (Q) e Muito Quente (MQ), definindo em função da temperatura e ITGU citado em literatura.

Figura 4 - Curvas de pertinência aplicadas à saída *fuzzy* que classifica o ambiente térmico.



Fonte: Do Autor (2019)

3.1.1 Regras especificadas no *Embedded Fuzzy Logic Library (eFLL)*

As regras foram geradas com base em dados da literatura e com o auxílio de especialistas com experiência em lógica *fuzzy* e ambiência animal por mais de dez anos, escolhidos conforme metodologia proposta por Cornelissen et al. (2003) e, aplicada por outros autores (de Alecrim et al., 2017; Ferraz et al., 2017).

Os termos linguísticos foram atribuídos de acordo com as faixas listadas na Tabela 4. As 49 regras geradas foram convertidas para a linguagem de programação adequada à *eFLL* (Kridi et al., 2013) e embarcada no microcontrolador *ESP8266*.

Tabela 4 - Sistema de regras da inferência *fuzzy* para as variáveis Índice de Temperatura do Globo Negro e Umidade do (ITGU) e idade das aves (I).

Idade (dias)	ITGU _i						
	1	2	3	4	5	6	7
I ₁	MF	MF	MF	MF	MF	F	C
I ₂	MF	MF	MF	MF	F	C	Q
I ₃	MF	MF	MF	F	C	Q	MQ
I ₄	MF	MF	F	C	Q	MQ	MQ
I ₅	MF	F	C	Q	MQ	MQ	MQ
I ₆	F	C	Q	MQ	MQ	MQ	MQ
I ₇	C	Q	MQ	MQ	MQ	MQ	MQ

F (Frio), MF (Muito Frio), C (Confortável), Q (Quente), MQ (Muito Quente).

Fonte: Do Autor (2019)

3.2 Desenvolvimento do *hardware*

3.1 Módulo de aquisição de dados

O módulo de aquisição é composto de sensores digitais modelo *DS18B20*, para a mensuração das temperaturas do ar e de globo negro; modelo *DHT22* para a medição da umidade relativa do ar; microcontrolador *ESP8266* e *case* para proteção e cabo *USB* para alimentação *via* fonte 5v. O sensor de temperatura digital se comunica *via* barramento 1-wire, nos quais diversos sensores *DS18B20* podem funcionar devido ao código único de 64 *bits* que é utilizado para identificação (Semiconductor, 2019)

O sensor *DHT22*, que coleta o valor da umidade relativa do ar (UR) modelo (RHT03 ou AM2302), faixa 40~80°C e 0-100 (%) com precisão de $\pm 0,5^\circ\text{C}$ e 2%, vem calibrado de fábrica e

possui coeficientes de ajustes armazenado no próprio sensor e compatível com microcontroladores (Jazizadeh et al., 2014).

3.2 Índice de temperatura do globo negro e umidade (ITGU)

O ITGU desenvolvido por Buffington et al. (1981) foi usado neste trabalho por ser considerado atualmente, o índice mais adequado para caracterização ambiental de conforto térmico em razão de incorporar a temperatura, umidade relativa, ventilação e a radiação na forma de temperatura de globo negro, em um único valor, sendo calculado pela equação 1.

$$ITGU = T_{gn} + 0,36 T_{po} - 330,08 \quad (1)$$

em que:

T_{gn} : temperatura do globo negro (K);

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

3.3 Temperatura do ponto de orvalho (T_{po})

Ponto de orvalho designa a temperatura a qual o vapor de água presente no ar ambiente passa para o estado líquido na forma de pequenas gotas por via da condensação, o chamado orvalho.

De acordo com Wilhelm (1976), a temperatura de ponto de orvalho (t_{po}) pode ser calculada por meio das equações 2 e 3, para temperaturas do bulbo seco do ar (t_{bs}) entre 0 e 50°C e -50°C e 0°C, respectivamente.

A pressão atual de vapor do ar (e) é estimada pelo modelo matemático de Wilhelm (1976), em função da Umidade Relativa (UR).

$$t_{po} = 6,983 + 14,38 \ln(e) + 1,079 [\ln(e)]^2 \quad (2)$$

$$t_{po} = 5,994 + 12,41 \ln(e) + 0,4273 [\ln(e)]^2 \quad (3)$$

em que:

t_{po} : temperatura do ponto de orvalho ($^{\circ}\text{C}$);

e : pressão atual de vapor do ar (kPa);

3.4 Calibração dos sensores

As calibrações dos sensores de medição da t_{bs} (DHT22), t_{gn} (DS18B20 instalado no centro geométrico de um globo negro) e UR (DHT22) foram realizadas comparando as medições realizadas com esses sensores e as obtidas pelo medidor de estresse térmico TGD-400 (Instrutherm). O TGD-400 possui acurácias de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ e $\pm 4\%$ para t_{bs} , t_{gn} e UR, respectivamente.

As medições das variáveis citadas foram realizadas no interior de um túnel de vento climatizado por meio dos sensores usados no controlador desenvolvido e pelo medidor de estresse térmico TGD-400, usado como referência. Os ambientes térmicos testados envolveram valores de t_{bs} de 16, 20, 24, 28, 32 e 36 $^{\circ}\text{C}$, e a UR comparada foi a que o aparelho de referência determinou nos tuneis, no momento de cada coleta.

Para a comparação das medições entre os sensores foram calculados os valores médios, erros absolutos (EA), erros percentuais (EP), o coeficiente de determinação (R^2) e, foi aplicado o teste t.

3.5 Módulo de atuadores sobre a climatização (Relés e o receptor de comando)

O módulo atuador é composto por 4 relés de (110v/220v), com capacidade de controle de equipamentos cuja corrente elétrica é de até 10 amperes (A), que são acionados com um sinal com tensão de 5v, fornecido pelo microcontrolador *ESP8266*, quando recebe o comando via *MQTT* da central *Raspberry Pi3* para acionar o dispositivo conectado. Se o dispositivo a ser acionado necessitar de corrente elétrica acima de 10 A, poder-se-á utilizar contadores apropriados.

O módulo atuador é capaz de acionar dispositivos de climatização (aquecedores, ventiladores ou exaustores e bomba d'água do sistema de resfriamento evaporativo tipo placas porosas umedecidas ou nebulização) quando necessário for a atuação, mediante classificação do ambiente do aviário.

3.6 Central de dados e servidor Web (*Raspberry Pi*)

O *Raspberry Pi 3* é utilizado como servidor *web* e de persistência de dados, por ser de pequeno porte e com as funcionalidades necessárias para a arquitetura do sistema, com um custo viável. Por sua vez, o roteador *wifi* é utilizado para comunicação sem fio entre os dispositivos da arquitetura do controlador *SMART*, utilizando o protocolo *MQTT*.

A tensão elétrica dos *hardwares* é fornecida por fonte externa sendo a tensão de 5v para *Raspberry Pi* e microcontroladores e a tensão de 12v para o roteador *wifi*.

2.3 Desenvolvimento do *software*

2.3.1 A implementação do aplicativo *web*

A biblioteca *eFLL* (Kridi et al., 2013) foi usada para embarcar as 49 regras *fuzzy*, geradas com conhecimento de especialistas.

Um *broker* foi implementado no *Raspberry Pi3* para receber as informações via *MQTT*, armazenar as informações no banco de dados *MySQL* e atualizar os dispositivos móveis conectados a arquitetura do sistema de controle inteligente em tempo real.

A tomada de decisão do sistema é realizada por meio de um sistema inteligente embarcado no microcontrolador em função das regras que têm como variáveis de entrada o ITGU e a idade de vida das aves (dias). Com base nestas variáveis de entrada, a lógica *fuzzy* executa a fuzzificação e em seguida a defuzzificação, retornando um valor numérico que é a tradução da saída do processamento *fuzzy* (Mendel, 1995) e, em função deste valor numérico, obtém-se a classificação do ambiente por meio de figuras linguísticas MUITO FRIO (MF), FRIO (F), CONFORTAVEL (C), QUENTE (Q) E MUITO QUENTE (MQ). Com base na classificação, o sistema de controle toma a decisão de atuar no sistema de climatização podendo assim liga-lo ou desligar desliga-lo, em tempo real (*real time*) e informando todos clientes conectados ao servidor *web*.

2.3.2 Telas do aplicativo

2.3.1 Tela principal

A tela principal do aplicativo *web* implementado, acessada por um dispositivo *desktop*, é ilustrada na figura 5, na qual são apresentadas informações mensuradas no ambiente térmico em tempo real e a respectiva classificação e quando acessado por um *smartphone*, o aplicativo por ser responsivo se adaptando a qualquer resolução (tamanho) de *display* automaticamente.

Figura 5 - Tela do aplicativo *web*.



Fonte: Do Autor (2019)

3. Calibração dos sensores

Para a t_{bs} , não foram observadas diferenças significativas ($p > 0,05$, teste t) entre os valores originalmente medidos e após calibração (corrigidos), conforme listados na tabela 5 e na figura 6. Entretanto, após a aplicação de correção aos dados originalmente mensurados, os valores corrigidos de t_{bs} foram mais próximos daqueles medidos pelo sensor de referência.

Para a correção dos valores de t_{bs} medidos pelo sensor DHT22 foi ajustada a equação de regressão linear (Fig 8), que obteve R^2 de 0,9969.

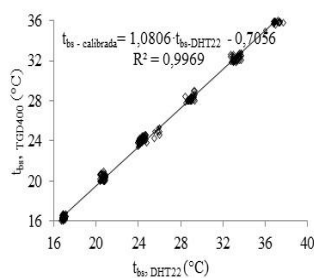
Tabela 5 - Análise estatística aplicada à t_{bs}

Variável	Calibração	Média (D. Padrão)	teste-t
t_{bs}	sem	DHT ₂₂	25,40 (6,57)
		TDG ₄₀₀	26,06 (6,83)
		EA	0,68 (0,41)
		EP	2,53 (1,44)
	com	DHT ₂₂	26,74 (7,10)
		TDG ₄₀₀	26,06 (6,83)
		EA	0,71 (0,44)
		EP	2,67 (1,45)

t_{bs} : temperatura de bulbo seco (°C), DHT₂₂: Sensor de Temperatura e Umidade. TDG₄₀₀: Aparelho Stress Térmico, EA: Erro Absoluto, EP: Erro Percentual, NS: Não Significativo

Fonte: Do Autor (2019)

Figura 6 - Regressão linear t_{bs}



Fonte: Do Autor (2019)

Resultados similares ao observados para a t_{bs} foram encontrados para a t_{gn} e UR, entretanto, além dos valores médios da t_{gn} e UR medidos pelos sensores usados no controlador desenvolvido serem mais próximos daqueles medidos pelos sensores de referência, o EA e EP foram menores após a calibração (Tabelas 6 e 7). As equações ajustadas para a calibração e seus respectivos valores de R^2 , bem como o comportamento dos dados são ilustrados nas Figuras 7 e 8.

Tabela 6 - Análise estatística de t_{gn}

Variável	Calibração		Média (D. Padrão)	teste-t
t_{gn}	sem	DHT ₂₂	26,01 (6,74)	NS
		TDG ₄₀₀	24,60 (6,02)	
		EA	1,46 (1,06)	
		EP	5,63 (3,96)	
	com	DHT ₂₂	24,60 (5,96)	NS
		TDG ₄₀₀	24,60 (6,02)	
		EA	0,57 (0,57)	
		EP	2,43 (2,49)	

t_{gn} : temperatura de globo negro (°C), DHT₂₂: Sensor de Temperatura e Umidade. TDG₄₀₀: Aparelho Stress Térmico, EA: Erro Absoluto, EP: Erro Percentual, NS: Não Significativo

Fonte: Do Autor (2019)

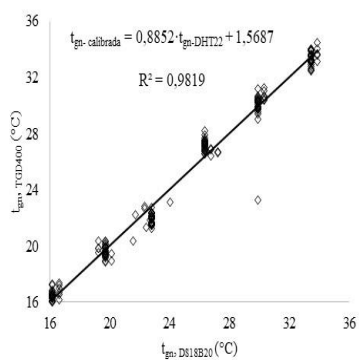
Tabela 7 - Análise estatística de UR

Variável	Calibração		Média (D. Padrão)	teste-t
UR	sem	DHT ₂₂	77,16 (9,32)	NS
		TDG ₄₀₀	64,69 (9,75)	
		EA	12,47 (2,32)	
		EP	19,77 (4,64)	
	com	DHT ₂₂	64,69 (9,47)	NS
		TDG ₄₀₀	64,69 (9,75)	
		EA	1,77 (1,49)	
		EP	2,69 (2,15)	

UR: Umidade relativa (%), DHT₂₂: Sensor de Temperatura e Umidade. TDG₄₀₀: Aparelho Stress Térmico, EA: Erro Absoluto, EP: Erro Percentual, NS: Não Significativo

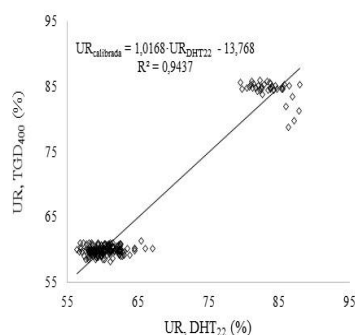
Fonte: Do Autor (2019)

Figura 7 - Regressão linear t_{gn}



Fonte: Do Autor (2019)

Figura 8 - Regressão linear UR



Fonte: Do Autor (2019)

4 Resultados e discussão

O protótipo implementado como aplicação na Agricultura 4.0, utiliza inteligência artificial para supervisão e monitoramento da climatização do ambiente para o conforto térmico do frangos de corte, possuindo arquitetura e tecnologias mais avançadas ao ser comparados com *hardwares* e *softwares* de baixo custo reportados na literatura (de Alecrim et al., 2017; Camargo et al., 2019). O protótipo adotou da primeira a última semana de vida as das aves (42 dias), o ITGU como parâmetro de conforto térmico, calculado em tempo real e implementado por meio de 49 regras *fuzzy*, que após a defuzzificação, toma a decisão e atua na climatização do aviário. O aplicativo *web*, diferente de trabalhos realizados para controle e supervisão da avicultura (Lorencena et al., 2019; de Alecrim et al., 2017; Szesz et al., 2016), adota tecnologias voltadas para agricultura 4.0, *IoT* e ferramentas *open source*, atualiza em tempo real as informações para os clientes conectados ao servidor Raspberry Pi3 e salva em um banco de dados *MySQL*, trabalhando como um *datalogger* simultaneamente ao controle da climatização do aviário. O sistema utiliza rede *wifi* e protocolo *MQTT* como meio de comunicação entre os dispositivos. Por sua vez, a *VPN* gerencia a segurança das informações para controlar de forma inteligente a climatização de aviários. Assim, o sistema possibilita o controle automatizado e acompanhamento da produção de forma remota, por meio de dispositivos móveis. Desta forma, poder-se-á aprimorar o manejo dos sistemas de climatização

instalados nos aviários de corte, otimizando a produção, e o sistema sendo uma alternativa viável, mais tecnológica e *smart* para aplicação na agricultura de precisão.

5 Conclusões

O controlador *fuzzy* embarcado composto por *hardware*, aplicativo *web* e um servidor *web*, implementado em um computador de pequeno porte *Raspberry Pi 3* mostra-se como alternativa, de baixo custo, para o controle do ambiente térmico em aviários para criação de frangos de corte de forma inteligente e, demonstrou-se confiável e estável como observado nas análises estáticas nos dados coletados e aferidos em laboratório. O sistema *fuzzy* embarcado, cuja resposta é baseada nas variáveis de entrada Idade das aves e índice da temperatura do globo negro e umidade (ITGU) apresentou desempenho confiável quando comparado às simulações realizadas no aplicativo *MatLab*, tendo 100% de acerto quando comparado a simulação feita com as mesmas curvas de pertinência, mesmas regras e variáveis de entradas iguais retornando a mesma classificação dada pela arquitetura implementada e o aplicativo Matlab, sendo viável para ser aplicado em aviários inteligentes.

Referencias

- Abreu, L.H.P., Yanagi Junior, T., Campos, A.T., Lourençoni, D., Bahuti, M., 2019. Fuzzy model for predicting cloacal temperature of broiler chickens under thermal stress. *Eng. Agrícola* 39, 18–25. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v39n1p18-25/2019>
- Arduino Foundation, 2015. Arduino Playground - DHTLib [WWW Document]. Novemb. 06, 2015, 0618 AM. URL.
- Bala, J. A., Olaniyi, O. M., Folorunso, T. A., & Arulogun, O. T., 2019. Poultry Feed Dispensing System Control: A Case between Fuzzy Logic Controller and PID Controller. *Balkan Journal of Electrical and Computer Engineering*, 7(2), 171-177. <https://doi.org/10.17694/bajece.536026>
- Barbosa, C.F., Carvalho, R.H. de, Rossa, A., Soares, A.L., Coró, F.A.G., Shimokomaki, M., Ida, E.I., 2013. Commercial preslaughter blue light ambience for controlling broiler stress and meat qualities. *Brazilian Arch. Biol. Technol.* 56, 817–821. <https://doi.org/10.1590/S1516-89132013000500013>
- Camargo, T. F., Silva, R. L., Higa, M., Coutinho, M. R., de Oliveira, J. C., & Conceição, W. A. D. S. (2019). Thermal comfort monitoring in aviaries by a real-time data acquisition system. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 23(9), 694-701.
- Cornelissen, A.M.G., van den Berg, J., Koops, W.J., Kaymak, U., 2003. Elicitation of expert knowledge for fuzzy evaluation of agricultural production systems. *Agric. Ecosyst. Environ.* 95, 1–18. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(02\)00174-3](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(02)00174-3)
- Davidson, C., Rezwana, T., Hoque, M.A., 2019. Smart Home Security Application Enabled by IoT, in: *Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering, LNICST*. pp. 46–56. https://doi.org/10.1007/978-3-030-05928-6_5

- de Alecrim, P.D., Campos, A.T., Yanagi Junior, T., Ferreira, J.C., Trindade, A.A., 2017. Low cost fuzzy system applied to the control and supervision of thermal environment in poultry farms. *Eng. Agríc.* 37, 194–205. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v37n1p194-205/2017>
- Buffington, A. Collazo-Arocho, G. H. Canton, D. Pitt, W. W. Thatcher, R. J. Collier, 1981. Black Globe-Humidity Index (BGHI) as Comfort Equation for Dairy Cows. *Trans. ASAE.* <https://doi.org/10.13031/2013.34325>
- de Paz, J.F., Bajo, J., Rodríguez, S., Villarrubia, G., Corchado, J.M., 2016. Intelligent system for lighting control in smart cities. *Inf. Sci. (Ny).* 372, 241–255. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2016.08.045>
- Ferraz, P.F.P., Yanagi Junior, T., Lima, R.R. de, Ferraz, G.A. e S., Xin, H., 2017. Performance of chicks subjected to thermal challenge. *Pesqui. Agropecuária Bras.* 52, 113–120. <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2017000200005>
- Ferreira, L., Yanagi Junior, T., Lacerda, W.S., Rabelo, G.F., 2012. A fuzzy system for cloacal temperature prediction of broiler chickens. *Ciência Rural* 42, 166–171. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782012000100027>.
- Huang, J., Zhang, L., 2017. The big data processing platform for intelligent agriculture, in: Liu, L and Xiao, J and Ke, J. (Ed.), *Green energy and sustainable development I*, AIP Conference Proceedings. Amer Inst Physics, 2 Huntington Quadrangle, Ste 1no1, Melville, NY 11747-4501 USA, p. 020033. <https://doi.org/10.1063/1.4992850>.
- Khanna, A., & Kaur, S. (2019). Evolution of Internet of Things (IoT) and its significant impact in the field of Precision Agriculture. *Computers and electronics in agriculture*, 157, 218-231.
- Klaučo, M., Kvasnica, M., 2019. Model Predictive Control, in: *Advances in Industrial Control*. pp. 15–34. https://doi.org/10.1007/978-3-030-17405-7_3

- Khoury, J., Mbayed, R., Salloum, G., Monmasson, E., 2016. Predictive demand side management of a residential house under intermittent primary energy source conditions. *Energy Build.* 112, 110–120. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.12.011>
- Krause, J., 2017. *Programming Web Applications with Node, Express and Pug*, Programming Web Applications with Node, Express and Pug. Apress, Berkeley, CA. <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-2511-0>
- Kridi, D. S., de Oliveira Alves, A. J., & de Sousa Lemos, M. V., 2013. Desenvolvimento de uma biblioteca fuzzy para o controle autônomo de um robô móvel em ambiente desconhecido. *Mostra Nacional de Robótica, 1*.
- Lara, L., Rostagno, M., 2013. Impact of Heat Stress on Poultry Production. *Animals* 3, 356–369. <https://doi.org/10.3390/ani3020356>.
- Li, H., Wang, H., Yin, W., Li, Y., Qian, Y., Hu, F., 2015. Development of a Remote Monitoring System for Henhouse Environment Based on IoT Technology. *Future. Internet* 7, 329–341. <https://doi.org/10.3390/fi7030329>
- Liang, L., Zhu, L., Shang, W., Feng, D., Xiao, Z., 2017. Express supervision system based on NodeJS and MongoDB, in: 2017 IEEE/ACIS 16th International Conference on Computer and Information Science (ICIS). IEEE, pp. 607–612. <https://doi.org/10.1109/ICIS.2017.7960064>
- Lorencena, M.C., Southier, L.F.P., Casanova, D., Ribeiro, R., Teixeira, M., 2019. A framework for modelling, control and supervision of poultry farming. *Int. J. Prod. Res.* 1–16. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1630768>
- Lourençoni, D., Yanagi Junior, T., Abreu, P.G. de, Campos, A.T., Yanagi, S. de N.M., 2019. Productive responses from broiler chickens raised in different commercial production systems - part i: fuzzy modeling. *Eng. Agrícola* 39, 1–10. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v39n1p1-10/2019>
- Mendel, J.M., 1995. Fuzzy logic systems for engineering: a tutorial. *Proc. IEEE* 83, 345–377. <https://doi.org/10.1109/5.364485>

- Mohapatra, A.G., Lenka, S.K., 2016. Neural Network Pattern Classification and Weather Dependent Fuzzy Logic Model for Irrigation Control in WSN Based Precision Agriculture. *Procedia Comput. Sci.* 78, 499–506. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.02.094>.
- Muangprathub, J., Boonnam, N., Kajornkasirat, S., Lekbangpong, N., Wanichsombat, A., & Nillaor, P. (2019). IoT and agriculture data analysis for smart farm. *Computers and electronics in agriculture*, 156, 467-474.
- Nawandar, N. K., & Satpute, V. R. (2019). IoT based low cost and intelligent module for smart irrigation system. *Computers and Electronics in Agriculture*, 162, 979-990.
- Oliveira, R. D., Donzele, J. L., Abreu, M. D., Ferreira, R. A., Vaz, R. G. M. V., & Cella, P. S. 2006. Efeitos da temperatura e da umidade relativa sobre o desempenho e o rendimento de cortes nobres de frangos de corte de 1 a 49 dias de idade. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 35(3), 797-803.
- Phiri, H., Kunda, D., Phiri, J., 2018. An IoT Smart Broiler Farming Model for Low Income Farmers. *Int. J. Recent Contrib. from Eng. Sci. IT* 6, 95. <https://doi.org/10.3991/ijes.v6i3.9287>
- Sreekantha, D.K., Kavya A.M., 2017. Agricultural crop monitoring using IOT - a study, in: 2017 11th International Conference on Intelligent Systems and Control (ISCO). IEEE, 345 E 47TH ST, NEW YORK, NY 10017 USA, pp. 134–139. <https://doi.org/10.1109/ISCO.2017.7855968>.
- Stewart, J., Stewart, R., Kennedy, S., 2017. Internet of Things - Propagation Modelling for Precision Agriculture Applications, in: 2017 Wireless Telecommunications Symposium (WTS), Wireless Telecommunications Symposium. IEEE, 345 E 47TH ST, NEW YORK, NY 10017 USA.

Szesz Junior, A., Monteiro Junior, M., Dias, A.H., Mathias, I.M., Conti, G., 2016. Embedded system in Arduino platform with Fuzzy control to support the grain aeration decision. *Ciência Rural* 46, 1917–1923. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20141808>

Zadeh, L.A., 1965. Fuzzy Sets-Information and Control-1965. *Inf. Control*.

Wilhelm, L. R., 1976. Numerical calculation of psychrometric properties in SI units. *Transactions of the ASAE*,19(2), 318-321