

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS**  
**FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola**

**DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVO PARA  
MONITORAMENTO E CONTROLE DE ATUADORES EM  
AMBIENTES AGRÍCOLAS**

**MAURICIO BATTILANI**

**DOURADOS**  
**MATO GROSSO DO SUL**  
**SETEMBRO 2018**

**DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVO PARA  
MONITORAMENTO E CONTROLE DE ATUADORES EM  
AMBIMENTES AGRÍCOLAS**

**MAURICIO BATTILANI**  
(Engenheiro Agrícola)

Orientador: Prof. Dr. RODRIGO COUTO SANTOS  
Co-Orientador: Prof. Dr. LUCIANO OLIVEIRA GEISENHOF

Dissertação apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de Mestre

**DOURADOS  
MATO GROSSO DO SUL  
SETEMBRO 2018**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

B336d Battilani, Mauricio

Desenvolvimento de dispositivo para monitoramento e controle de atuadores em ambientes agrícolas [recurso eletrônico] / Mauricio Battilani. -- 2019.

Arquivo em formato pdf.

Orientador: Rodrigo Couto Santos.

Coorientador: Luciano Oliveira Geisenhoff.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2018.

Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:

<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. Ambiência. 2. Arduino. 3. Controlador lógico. 4. Programação. I. Santos, Rodrigo Couto. II. Geisenhoff, Luciano Oliveira. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

**DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVO PARA MONITORAMENTO E CONTROLE DE  
ATUADORES EM AMBIENTES AGRÍCOLAS**  
por

Mauricio Battilani

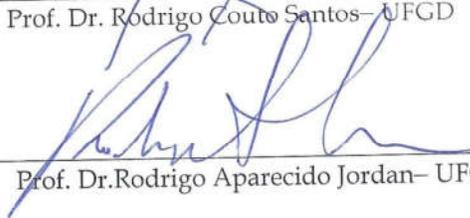
Dissertação apresentada como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título  
de MESTRE EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

Aprovada em: 17/09/2018.



---

Prof. Dr. Rodrigo Couto Santos – UFGD



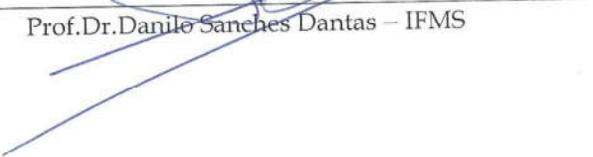
---

Prof. Dr. Rodrigo Aparecido Jordan – UFGD



---

Prof. Dr. Danilo Sanches Dantas – IFMS



Dedico a Deus,  
Aos meus pais e ao meu orientador, pelo carinho e apoio nessa caminhada, e por  
terem me incentivado desde antes do início!

## AGRADECIMENTOS

À Deus, em primeiro lugar, por sempre iluminar meus caminhos, nessa longa caminhada.

Aos meus pais, Francisco Elio Battilani Filho e Liberacy Lino Battilani pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

Ao meu grande amigo e orientador Prof. Dr. Rodrigo Couto Santos, pelos ensinamentos, paciência, boas conversas, conselhos e horas dedicadas à realização deste trabalho e pelo incentivo para que eu entrasse no Programa.

Aos meus irmãos, Francisco Elio Battilani Neto e Murilo Lino Battilani pelo apoio, ajuda, conversas que me fizeram continuar nessa conquista.

Aos meus amigos que sempre estiveram comigo, meus irmãos de orientação, Felipe Lovatto, Juliano Lovatto, Natália Coimbra da Silva e Rafael Zucca.

À todos os professores do Programa de Pós-Graduação da Engenharia Agrícola em especial ao Prof. Dr. Luciano Oliveira Geisenhoff e Prof. Dr. Rodrigo Aparecido Jordan, por transmitir todos os seus conhecimentos, para minha formação de Mestre em Engenharia Agrícola.

Enfim, a todos aqueles que de uma forma ou de outra contribuíram para a execução deste trabalho e na minha formação.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	14
2	REVISÃO DE LITERATURA .....	17
2.1	Cenário Avícola .....	17
2.2	Ambiência e bem-estar animal.....	17
2.2.1	Zona de conforto térmico na produção de aves .....	19
2.2.2	Capacidade termorregulatória .....	20
2.2.3	Temperatura e Umidade Relativa do Ar.....	21
2.2.4	Índices de Conforto Térmico Ambiental.....	22
2.3	Tipos de instalações rurais.....	24
2.3.1	Construções Convencionais.....	24
2.3.2	Construções com Sistema Adiabático Evaporativo .....	25
2.3.3	Construções Dark House .....	27
2.3.4	Construções Isotérmicas .....	28
2.4	Automação de Processos.....	29
2.4.1	Transdutores e Sensores .....	31
2.4.2	Shields e Módulos.....	34
2.4.3	Controladores Lógicos Programáveis – CLP .....	38
3	MATERIAIS E MÉTODOS .....	42
3.1	Montagem do Hardware .....	42
3.1.1	Emissores.....	42
3.1.2	Receptor .....	43
3.2	Programação do Software .....	44
3.2.1	Arduino Nano Emissor .....	44
3.2.2	Arduino Nano Receptor .....	46
3.2.3	Arduino Mega .....	47
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	50
5	CONCLUSÃO .....	61
6	AGRADECIMENTOS .....	61
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	62

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1. Zona de Conforto para aves em função da semana .....	20
Tabela 2. Quantidade de materiais e preço médio praticado pelas lojas especializadas, não está incluído o preço do frete. ....	59
Tabela 3. Quantidade de materiais e preço médio praticado pelas lojas especializadas, não está incluído o preço do frete, nem o preço do serviço de programação do CLP. ....	60

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Valores limites de cada faixa de conforto em função da idade em semanas das aves de corte, Adaptado de Barbosa Filho <i>et al.</i> , 2017.....	23
Figura 2. Vista interna de instalação Convencional de aves Fonte: A) Repositório Digital de Carlos Pena.....	25
Figura 3. A) Vista interna, B) vista externa do material poroso e C) Exaustores. Fonte: Avicultura Industrial. ....	26
Figura 4. A) Vista externa e B) Vista interna construção tipo Dark House Fonte: Túlio Medeiros Marçal. ....	28
Figura 5. Vista interna de instalação do tipo Isotérmico. Fonte: FERREIRA (2017). ....	29
Figura 6. Sensor de Temperatura e Umidade Relativa do ar DHT22, Fonte: Autor.....	32
Figura 7. Sensor de Temperatura e Umidade Relativa do ar DHT11, Fonte: Autor.....	33
Figura 8. Sensor de luminosidade BH1750, Fonte: Autor.....	33
Figura 9. Sensor de gases tóxicos MQ135, Fonte: Autor.....	34
Figura 10. Microcontrolador Arduino Uno (baixo) e Shield Ethernet (cima), Fonte: Autor. ..	35
Figura 11. Microcontrolador Arduino Uno (esquerda) e módulo Bluetooth (direita), Fonte: Autor.....	35
Figura 12. Módulo RTC, Fonte: Autor.....	36
Figura 13. Módulo Relay com quatro canais, Fonte: Autor.....	36
Figura 14. Módulo leitor de cartão de memória microSd, Fonte: Autor.....	37
Figura 15. Módulo transceptor NRF24L01, Fonte: Autor.....	37
Figura 16. Módulo display LCD 2004, Fonte: Autor.....	38
Figura 17. Microcontrolador Arduino Nano, Fonte: Arduino Project Foundation.....	40
Figura 18. Microcontrolador Arduino Uno, Fonte: Arduino Project Foundation.....	40
Figura 19. Microcontrolador Arduino Mega, Fonte: Arduino Project Foundation.....	41
Figura 20. Ilustração esquemática dos componentes do emissor, Fonte: Autor. Sem escala ..	43
Figura 21. Ilustração esquemática da central, Fonte: Autor, Sem escala.....	44
Figura 22. Print da inclusão das bibliotecas na programação do Arduino Nano emissor, Fonte: Autor. ....	45
Figura 23. Print da leitura e envio dos dados pelo Arduino Nano, Fonte: Autor.....	46
Figura 24. Inclusão das bibliotecas do Arduino Nano Receptor. Fonte: Autor.....	47
Figura 25. Print da inclusão das Bibliotecas para o Arduino Mega. Fonte: Autor.....	47
Figura 26. Protótipo do Emissor, com os sensores à mostra. Fonte: Autor.....	50
Figura 27. Equação de calibração para Temperatura do ar. Fonte: Autor.....	51
Figura 28. Equação de calibração para Umidade Relativa do ar. Fonte: Autor.....	51
Figura 29. Equação de calibração do sensor de luminosidade BH1750. Fonte: Autor. ....	52
Figura 30. Print da programação do Arduino Emissor com as equações de correção. Fonte: Autor. ....	53
Figura 31. Dados de Temperatura dos sensores DHT22 após ajuste de calibração. Fonte: Autor.....	53
Figura 32. Dados de Umidade Relativa dos sensores DHT22 após calibração. Fonte: Autor. ....	54
Figura 33. Dados de luminosidade após a correção do sensor BH1750 comparando com o Luxímetro. Fonte: Autor. ....	54
Figura 34. Central Receptora com display, botões e antena. Fonte: Autor.....	55
Figura 35. Central Receptora com display e módulo relay. Fonte: Autor.....	55
Figura 36. Telas apresentadas no Display da Central Eletrônica. Fonte: Autor.....	56
Figura 37. Cálculo da Entalpia utilizando Equação 1. Fonte: Autor. ....	56

Figura 38. Calculado idade utilizando a função <i>unixtime</i> do Arduino. Fonte: Autor.....	57
Figura 39. Acionamento do Exaustor e desligamento do Exaustor. Fonte: Autor.....	57
Figura 40. Arquivos .txt do cartão de memória da Central. Fonte: Autor .....	58
Figura 41. Apresentação dos valores dentro do arquivo gerado pelo Datalogger. Fonte: Autor .....	58

**LISTA DE ABREVIACOES**

ABPA	Associação Brasileira de Proteína Animal
CLP	Controlador Lógico Programável
FAMASUL	Federação da Agricultura e Pecuária do Mato Grosso do Sul
FAS	Foreign Agricultural Service
h	Entalpia
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IHM	Interface-Homem-Máquina
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
MS	Mato Grosso do Sul
Ppm	Partícula por milhão
SRAE	Sistema de Resfriamento Adiabático Evaporativo
Ta	Temperatura do ar
UFGD	Universidade Federal da Grande Dourados
UR	Umidade Relativa do ar
USDA	United States Department of Agriculture

## RESUMO

Fatores ambientais como temperatura e umidade influenciam na produção animal, estes devem ser monitorados com o máximo de precisão possível, para assim, evitar tomadas de decisões baseadas em dados distorcidos, por isso a melhor maneira de coleta de dados é *in loco*, porém os custos elevados de aquisição de sistemas de coleta e controle ambiental podem ser um empecilho para pequenos produtores. Este trabalho teve como objetivo a validação de transdutores de temperatura e umidade relativa do ar e sensor de luminosidade de baixo custo, utilização de datalogger e acionamento de atuadores como forma de melhoria das condições ambientais. A validação dos sensores de Temperatura, Umidade Relativa e Luminosidade foi feita equiparando com sensores calibrados e atestados pelo INMETRO utilizando o teste t student para análise estatística a 5% de probabilidade. O experimento foi realizado em Dourados – MS, no Campus II da Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD em 2018. Para análise quantitativa e qualitativa do conforto térmico foi utilizado a Entalpia (kJ/kg ar seco) e com base na análise qualitativa do conforto os atuadores foram acionados sempre que necessário. Com este estudo foi possível construir um equipamento de baixo custo se comparado com as marcas nacionais comercialmente encontradas no mercado. O transdutor em sistema embarcado mostrou-se eficaz na coleta e acionamento de atuadores, e a utilização de datalogger agrega valores quando utilizado em pesquisas pela sua capacidade e pelo intervalo reduzido entre as coletas de dados.

**Palavras-chave:** Ambiência, Arduino, Controlador Lógico, Programação.

## ABSTRACT

Environmental factors such as temperature and humidity influence animal production, they should be monitored as accurately as possible to avoid making decisions based on distorted data, so the best way to collect data is locally, but costs collection of environmental control and collection systems can be a deterrent to small producers. The aim of this work was the validation of temperature and relative humidity sensors and low cost light sensor, use of datalogger and drive of actuators as a way to improve environmental conditions. The validation of the Temperature, Relative Humidity and Luminosity sensors was made with calibrated sensors and attested by INMETRO using the student t test for statistical analysis at 5% probability. The experiment was performed in Dourados - MS, at Campus II of the Federal University of Grande Dourados - UFGD in 2018. For quantitative and qualitative analysis of thermal comfort, Entalpia (kJ / kg dry air) was used and based on the qualitative analysis of comfort the actuators were triggered whenever necessary. With this study it was possible to construct a low cost equipment compared to the national commercially available brands. The embedded transducer proved to be effective in collecting and actuating actuators, and the use of datalogger aggregates values when used in searches for its capacity and the reduced interval between data collections.

**Keywords:** Ambience, Arduino, Logic Controller, Programming.

## 1 INTRODUÇÃO

Setores como a avicultura e suinocultura vêm se destacando no cenário nacional, de modo que grandes investimentos têm sido feitos, principalmente nas áreas de melhoramento genético e instalações. Nesse cenário o Brasil se evidencia, ocupando posições de destaque nos rankings de produção e exportação, atingindo o segundo lugar na produção e o primeiro lugar na exportação de frangos de corte. Já na produção de suínos ocupa o quarto lugar tanto em produção quanto em exportação (ABPA, 2018).

Nesse contexto destaca-se o Centro-Oeste, que se torna polo promissor para a produção de aves e suínos, em decorrência da sua posição geográfica privilegiada, na região central do país, apresentando vantagens quanto ao escoamento da produção, e em decorrência da elevada produção de grãos, usados na alimentação, o que reflete em custos de produção mais baixos, se comparados à outras regiões. Destaca-se então o estado de Mato Grosso do Sul, que vem recebendo grandes investimentos e onde importantes empresas desses setores têm se instalado.

Aumentos da temperatura do ar ocasionam estresse, podendo levar, em certos casos, até a morte dos animais. Assim, a medida que a temperatura ambiente se distancia da zona de conforto térmico animal, cresce em importância a necessidade do emprego de artificios capazes de minimizar o efeito dessa situação estressora que pode influenciar no desempenho produtivo (SANTOS *et al.*, 2006).

Fatores ambientais como temperatura e umidade relativa do ar influenciam na produção animal, no comportamento, no estresse e bem-estar (BAËTA; SOUZA, 2010), portanto estes devem ser observados com o máximo de precisão possível, para assim, evitar tomadas de decisões baseadas em dados distorcidos. Tendo em vista que as estações meteorológicas oficiais não fornecem as condições com fidelidade de todos os pontos da cidade em que elas se encontram provavelmente por conta da vizinhança que interfere no micro clima, é altamente recomendável que se faça o monitoramento das condições climáticas *in loco* (SANTOS *et al.*, 2014).

Visto que locais de climas desfavoráveis à produção de frango de corte como é o caso de Mato Grosso do Sul (MS) estarem se tornando polos produtores agrícolas, fica evidente a problemática de se produzir nesta região sem um monitoramento ambiental adequado que proporcione um condicionamento do micro clima mais favorável à produção.

Visando tornar mais eficiente um dado processo, reduzindo os riscos de acidente e aumentando a produção com redução no consumo energético, utiliza-se então da automação que são conjuntos de técnicas computadorizadas no qual funcionam de maneira automática por meio de medições e inserindo correções, dispensando a intervenção humana. A automação permite uma redução nos custos com ganhos na produção (MIRANDA *et al.*, 2014).

Uma das razões pela qual surgiu a automação, foi a necessidade de otimizar o sistema produtivo, buscando uma melhor produção de bens e serviços. Dentre as técnicas capazes de reduzir os impactos ambientais, utilizando de forma precisa a energia e matérias primas, está a automação, proporcionando melhorias no desempenho de processos agroindustriais e de empresas tanto na aquisição de dados quanto no manejo (PINHEIRO, 2008).

Com a intenção de aperfeiçoar os processos, reduzindo consumo de energia e aumentando a renda das atividades agrícolas, a agricultura é um dos maiores campos de pesquisa sobre o uso de transdutores capazes de medir temperatura, pressão, umidade, dentre outras variáveis referentes ao manejo agrícola (BOGENA *et al.*, 2010).

Para processos mais precisos e complexos, a indústria utiliza CLP's, que são Controladores Lógicos Programáveis, capazes de receber dados de vários sensores em simultâneo, realizar equações matemáticas e acionar diferentes atuadores para diferentes situações. Além disso, é possível o CLP se “comunicar” com o operador, e vice-versa, através da Interface Homem-Máquina IHM (PRIYANKA *et al.*, 2018).

Pelo grau da complexibilidade do tema “monitoramento ambiental”, conhecimentos interdisciplinares aplicados na área engenharia agrícola que envolvam ambiência, gestão ambiental, automação e dispositivos embarcados fazem-se necessários para poder obter um resultado com melhor grau de precisão na busca por um monitoramento preciso, inteligente e a baixo custo, justificando assim esta pesquisa.

### **Objetivo Geral**

Desenvolver um equipamento eletrônico utilizando transdutores que seja capaz de mensurar variáveis climáticas, armazenar em dispositivos embarcados em forma de banco de dados, acionar atuadores para controle ambiental em função das variáveis climáticas.

### **Objetivos Específicos**

- \* Desenvolvimento de sensores sem fio;
- \* Validação dos sensores de Temperatura;

- \* Validação dos sensores de Umidade Relativa do ar;
- \* Validação dos sensores de Luminosidade;
- \* Desenvolvimento de uma central de armazenamento eletrônico, *datalogger*;
- \* Desenvolvimento de uma central de acionamento dos atuadores.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Cenário Avícola**

Das cadeias produtivas de carne, a suína e avícola são as que possuem maior relevância em termos globais. A produção mundial segue patamares de 91,3 milhões de toneladas de carne avícola, conforme estimativas da *Foreign Agricultural Service / United States Department of Agriculture*, para 2018 (FAS/USDA, 2017), e isso contribuiu para mudanças tecnológicas em processos de produção e de abate, no intuito de obter melhor qualidade dos produtos, atendendo à demanda de mercado, (SANTOS FILHO *et al.*, 2017).

Segundo o relatório anual da Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA 2018), em 2017 a produção de carne avícola no Brasil chegou à 13,05 milhões de toneladas, tendo um ligeiro aumento de 150 mil toneladas em comparação ao ano anterior, de forma que da produção total 33% é destinado à exportação e 67% ao mercado interno.

Ainda segundo o relatório o Brasil se consolidou como exportador, permanecendo em posição de destaque no cenário mundial. No ano de 2014 atingiu o patamar de 4 milhões de toneladas exportada e em 2017 atingiu a marca de 4,32 milhões de toneladas, onde o recorde foi em 2016 com 4,38 milhões de toneladas exportada.

O Estado de Mato Grosso do Sul ocupa a oitava posição no cenário nacional no quesito de produção, representando 3,23%, sendo que o maior Estado produtor é o Paraná com 34,32%. A Região Centro-Oeste é a terceira maior região produtora representando 14,87% da produção nacional, ABPA (2018).

Dessa forma, os estudos voltados ao desenvolvimento da atividade avícola podem ajudar a preencher a lacuna existente nas questões de ambiência, bem-estar animal e qualidade da carne, bem como na sustentabilidade da atividade.

### **2.2 Ambiência e bem-estar animal**

O bem-estar animal é definido em forma de cinco liberdades, as quais são: Livre de estresse e medo; Livre de fome e sede; Livre de desconforto; Liberdade para expressar o comportamento normal e Livre de dor (WEBSTER, 2016).

Segundo Pereira (2011) o bem-estar animal é importante para a produção avícola, condição exigida por muitos mercados internacionais exigem que haja a comercialização,

agregando valor ao produto final. O conhecimento e o controle das condições ambientais no interior da instalação é um dos fatores responsáveis pelo sucesso do empreendimento.

A difusão e a aceitação dos conceitos de bem-estar animal estão presentes dentre os sistemas de produção animal. Broom (1986) define bem-estar como um estado de um indivíduo em relação às tentativas de se relacionar ao seu ambiente, demonstrando assim o conforto, seja mental ou físico, no ambiente em que está inserido.

Para MAPA (2014) a sociedade brasileira e os mercados, tanto exportadores quanto importadores de produtos de origem animal, exigem padrões mínimos de bem-estar animal nas cadeias produtivas. Diante disso, acatar aos requisitos de bem-estar se tornou uma característica essencial do produto, expressando um potencial valor econômico, contribuindo em uma melhora importante no conforto dos animais, minimizando perdas nos sistemas produtivos.

Ao se aplicar os conceitos de bem-estar animal em sistemas de produção exige-se maiores quantidades de recursos e mão-de-obra, fatores estes com valores mais elevados, resultando em adição nos custos de produção. Assim, os custos de instalação e a manutenção de sistemas que propiciem bem-estar na produção animal, podem ser um entrave (LLONCH *et al.*, 2015).

Entretanto, de acordo com Santos *et al.* (2016), a adoção de sistemas que sigam as diretrizes de bem-estar pode representar maior retorno econômico, devido à busca por produtos de origem animal que se enquadrem nas diretrizes e à liberdade em expressar seu comportamento de conforto, resultando em maior produtividade.

Para garantir o conforto térmico aos animais, é necessário identificar as ocasiões que ofereçam o desconforto e por em prática técnicas para prover melhores condições térmicas no ambiente. Cada espécie de animal necessita de condições ambientais específicas para o melhor desempenho, assim, alterações comportamentais dos animais podem ser sinais de estresse, exigindo ações estratégicas relacionadas ao manejo, a fim de proporcionar conforto (FREITAS *et al.*, 2017).

No Brasil, o principal fator limitante para a manutenção do bem-estar dos animais de produção é o estresse térmico, ou seja, as condições ambientais em que os animais se encontram estão fora do intervalo de conforto que ocorre em função do calor, do frio, entre outros, e quando submetidos a estas situações de desconforto o desempenho produtivo é afetado, trazendo prejuízos econômicos ao sistema (SILVA *et al.*, 2016).

Segundo Baêta e Souza (2010) fatores ambientais como temperatura e umidade influenciam na produção animal, no comportamento, no estresse e bem-estar, alterações

destas variáveis podem afetar de forma considerável o desempenho de um animal, pois este tem dificuldade em eliminar calor do corpo para o ambiente, o que depende não somente da temperatura, mas também da umidade relativa e velocidade do vento, conforme afirmam Silva *et al.* (2013). Posto isto, a problemática decorrente dos fatores climáticos e o alto custo do monitoramento adequado, passam a ser um tema que reflete diretamente na qualidade, quantidade e nos custos de produção.

### **2.2.1 Zona de conforto térmico na produção de aves**

O Brasil, por ser caracterizado com clima tropical e subtropical, atinge altas temperaturas na maior parte do ano, o que reflete em desconforto térmico. Diante disso, fatores ambientais são limitantes ao bem-estar das aves impedindo que estes alcancem sua máxima produtividade, ocasionando, portanto, diminuição da produção (SANTOS *et al.*, 2016).

Para Staub *et al.* (2016), quando há perda da temperatura corporal para o ambiente, sem o uso de mecanismos termorreguladores então o animal está com sensação de conforto, assim, o calor produzido pelo corpo através do metabolismo é perdido para o ambiente através da diferença de temperatura, portanto sua perda de calor é menor em temperaturas altas necessitando o uso de mecanismos termorreguladores.

Uma forma de melhorar as condições térmicas inadequadas dentro das instalações é utilizar sistemas de arrefecimento térmico, pois estes possibilitam o aumento das trocas térmicas por convecção proporcionando uma melhora no ambiente, reduzindo os efeitos negativos da umidade relativa do ar inadequada e também diminuindo a temperatura ambiente a níveis adequados além de proporcionar a troca de ar reduzindo a concentração de gases tóxicos, entretanto o uso destes sistemas de arrefecimento ocasiona aumento do custo operacional (CARVALHO *et al.*, 2016).

Segundo Araujo (2017) a instalação para fins produtivos deve promover um ambiente que seja confortável consumindo o mínimo de energia na conservação do calor ou no arrefecimento, de forma que seja possível ter o menor custo operacional enquanto que o animal consiga expressar seu máximo potencial produtivo, pois esse resultado pode significar a viabilidade econômica do negócio.

Todo animal possui uma zona de conforto térmico diferente, que varia de uma espécie para outra, ou até mesmo dentro da mesma espécie, em função da idade, nível nutricional,

fase de produção, genética, entre outros. O estabelecimento das faixas de temperatura e umidade relativa do ar, para frangos de corte da 1ª a 6ª semana com o intuito de facilitar o manejo e o controle do ambiente, foi proposto por Leal e Nääs (1992), conforme Tabela 1.

**Tabela 1.** Zona de Conforto para aves em função da semana

<b>Animal</b>	<b>Temperatura ideal (°C)</b>	<b>Umidade Ideal (%)</b>
<b>Frangos de corte</b>		
1ª semana	32-35	
2ª semana	29-32	
3ª semana	26-29	60 - 70
4ª semana	23-26	
5ª semana	18-23	
6ª semana	< 20	

Abreu; Abreu (2001), Gates *et al.* (1995) e Leal; Nääs (1992), adaptado.

O estresse térmico pode ser relacionado ao excesso de calor externo no ambiente de criação, de tal modo que cada animal tende a expressar mudanças de comportamento (FROEHLICH, 2017). Posto isso, é comum frangos de corte quando expostos a ambiente térmico inadequado responderem com alterações comportamentais, como ofegação, penas eriçadas e asas abertas; reações bioquímicas e fisiológicas, como a depressão, refletindo em decréscimo produtivo, reprodutivo e da sua resistência a doenças.

### 2.2.2 Capacidade termorregulatória

De acordo com Barbosa *et al.* (2017), o acompanhamento da temperatura ambiente é importante para o desenvolvimento de aves em todas as etapas da sua vida. Na fase inicial em que representa 1º, 2º ou 3º semana, a variação de temperatura interna dos animais se altera seguindo a do ambiente, estes são denominados poiquilotérmicos; necessitando, assim, de uma fonte de aquecimento para alcançar o conforto térmico necessário para seu desenvolvimento. De acordo com o ritmo de crescimento, a necessidade de aquecimento diminui já na fase adulta, representada pela 4º, 5º ou 6º semana, assim, tais animais são denominados endotérmicos por conseguirem manter a temperatura corporal dentro dos limites de conforto em condições ambientes normais.

Conforme aumentam a frequência respiratória, ocorre também um aumento da quantidade de calor dissipada para o meio, desse modo o mecanismo termorregulatório gera

maior gasto de energia, pois necessita de maiores contrações musculares, o que aumenta a produção de calor, podendo agravar o quadro de hipertermia, causando a morte das aves. Posto isso, com o aumento sucessivo da temperatura ambiente, as trocas de calor sensíveis tornam-se menos eficientes (BERTON *et al.*, 2015).

Segundo Gussule *et al.*, (2017), as aves, devido à ausência de glândulas sudoríparas em seus organismos, não possuem a capacidade de transpirar, assim, o mecanismo de dissipação de calor é considerado o mais competente em situações de altas temperaturas, através da elevação da frequência respiratória; entretanto, com o aumento da frequência, a consistência das fezes se tornam mais líquidas e mais umidade é adicionada ao ar do ambiente, havendo um acréscimo na perda de água por evaporação, induzindo a um aumento da ingestão de água, sendo assim, aumenta-se a dificuldade de dissipação de calor através da evaporação.

Os fatores térmicos ambientais afetam diretamente aves uma vez que comprometem a manutenção de sua homeotermia, tal qual é a sua função vital mais importante, onde o desempenho produtivo é reduzido pois as aves gastam energia na tentativa de conservar a temperatura interna para se manterem vivos em ambientes desconfortáveis seja pela elevada ou baixa temperatura. Desse modo, a maior parte de sua energia é destinada para a manutenção do seu bem-estar através do conforto térmico quando ocorre a alteração do funcionamento normal em seu metabolismo (QUEIROZ *et al.*, 2017).

### **2.2.3 Temperatura e Umidade Relativa do Ar**

Com o clima desfavorável, torna-se um desafio manter a produção de aves sem que seja necessário investimentos em dispositivos de arrefecimento térmico, pois esses animais são homeotérmicos e sensíveis às oscilações do ambiente, como temperatura e umidade relativa do ar (VIGODERIS *et al.*, 2016).

De acordo com Lourençoni (2017), o excesso de calor é o principal fator que influencia no aumento da taxa de mortalidade. As aves são dependentes de um ambiente adequado para poderem expressar seu máximo potencial produtivo sem que haja perda na produção, seja por baixo desempenho ou por morte de animais.

Para Dias *et al.* (2015), em extremos de temperaturas, seja calor ou frio, os animais homeotérmicos não conseguem se adaptar, sendo necessário que sejam acomodados em ambientes que possibilitem realizar o balanço térmico. Em dias com temperaturas muito altas,

as aves diminuem ou até interrompem o consumo de ração, já em períodos mais frios tendem a se alimentar mais e se movimentarem menos, adiando o processo de digestão, elevando o risco de contaminação da carcaça durante o abate.

O processo de manutenção da homeotermia resulta em um gasto de energia maior e requer alterações fisiológicas, prejudicando o desempenho do animal ou até mesmo levando à morte, pois a capacidade em suportar o calor é inversamente proporcional ao teor de umidade relativa do ar. Então, quanto maior a umidade relativa do ar, maior será a dificuldade do animal em remover calor interno por meio das vias aéreas, elevando o aumento da sua frequência respiratória aumentando seu gasto energético (PADILHA *et al.*, 2017).

#### 2.2.4 Índices de Conforto Térmico Ambiental

A principal medida para buscar e executar ações atenuantes que minimizem o desconforto animal e a perda de produção é conhecer e identificar variáveis climáticas que influenciam diretamente no desempenho do animal na forma de estresse térmico (CECCHIN *et al.*, 2016). Assim, a temperatura, a umidade relativa do ar, a radiação e a movimentação do ar são principais fatores que afetam diretamente as aves.

Existem vários índices utilizados para caracterizar o ambiente em termos de conforto e bem-estar animal, se destacando o Índice de Temperatura e Umidade (ITU), desenvolvido por Thom (1958) e adaptado por Buffington *et al.* (1982) e a Entalpia(h), adaptado por Barbosa Filho *et al.* (2007), por ser de fácil mensuração, utilizando apenas valores de temperatura e umidade relativa do ar.

Segundo Buffington *et al.* (1982) o ITU pode ser calculado pela Equação 1.

$$ITU = 46,3 + 0,8Ts + \frac{UR(Ts-14,3)}{100} \quad (1)$$

em que,

ITU = Índice de Temperatura e Umidade, adm;

Ts = Temperatura do termômetro de bulbo seco, °C;

UR = Umidade relativa do ar, %.

De acordo com Gates *et al.* (1995), para a produção de aves durante a 3<sup>o</sup> semana, considera-se que o ambiente é confortável se o ITU for menor que 74, sendo que entre 74 e 79

representa situação de alerta para a produção, e entre 79 e 84 indica situação de emergência. Quando atingido índices emergenciais, providências são necessárias para não ocorrer perda do plantel.

A Entalpia, adaptada por Barbosa Filho *et al.* (2007), pode ser calculada por meio da Equação 2:

$$h = \left( 6,7 + 0,243 \text{ Ta} + \left\{ \frac{UR}{100} 10^{\frac{7,5 - \text{Ta}}{237,3 + \text{Ta}}} \right\} \right) 4,18 \quad (2)$$

em que,

h = Entalpia, kJ/kg ar seco;

Ta = Temperatura do bulbo seco, °C;

UR = Umidade Relativa do ar, %.

Para aves com três semanas de vida, os valores indicados de h na faixa de 66,8 a 73,9 KJ. Kg<sup>-1</sup> de ar seco são caracterizados como confortáveis, para valores entre 74,0 a 80,9 KJ. Kg<sup>-1</sup> de ar seco de intermediário ao estresse térmico, valores entre 81,0 a 87,4 KJ. Kg<sup>-1</sup> de ar seco proporcionam condições de crítica, acima de 87,4 KJ. Kg<sup>-1</sup> de ar seco há condição letal, para a produção avícola (BARBOSA FILHO *et al.*, 2007), como pode ser observado na Figura 1.

	Níveis de Conforto						
	Letal	Crítica	Inter.	Conforto	Inter.	Crítica	Letal
1ª Sem	66,8	71,9	79,9	86,7	95,7	103,6	
2ª Sem	60,5	65,1	72,8	79,9	88,0	95,2	
3ª Sem	--	59,0	66,8	73,9	80,9	87,4	
4ª Sem	--	57,5	63,0	68,1	74,6	80,1	
5ª Sem	--	--	56,2	64,6	70,5	77,5	
6ª Sem	--	--	57,4	62,9	68,7	75,9	

Entalpia (kJ/kg de ar seco) →

**Figura 1.** Valores limites de cada faixa de conforto em função da idade em semanas das aves de corte, Adaptado de Barbosa Filho *et al.*, 2017.

### **2.3 Tipos de instalações rurais**

Segundo Oliveira e Gai (2016) embora o cenário econômico atual de produção animal seja favorável, o setor avícola tem novos desafios para manter a competitividade e atender aos patamares futuros de produtividade, destacando-se a climatização, que permite melhor acondicionamento térmico do ambiente no interior das instalações resultando assim em maior produção.

Com o passar dos anos, vários modelos de instalações vêm sendo desenvolvidos, com a finalidade de reduzir os efeitos negativos dos fatores climáticos sobre o desempenho dos animais criados em confinamento. Porém, não existe um padrão único de criatório que atenda às necessidades de controle ambiental para todas as regiões produtoras e animais, visto que cada local tem suas particularidades climáticas que interagem com os animais lá alojados (QUEIROZ *et al.*, 2017).

#### **2.3.1 Construções Convencionais**

Esse sistema convencional possui comedouro tubular, bebedouro pendular, não possui sistema de controle artificial da temperatura e o condicionamento térmico é natural, podendo ou não possuir forro e cortina de rafia amarela, azul ou branca (Figura 2A). Segundo Silva; Ganeco (2016), esse modelo de galpão é bastante influenciado pelas variáveis ambientais, pois depende das condições do clima externo para fornecer um ambiente favorável ao animal alojado (Figura 2B). Assim, as regiões de clima tropical não são as mais indicadas com vistas ao conforto térmico.



**Figura 2.** Vista interna de instalação Convencional de aves Fonte: A) Repositório Digital de Carlos Pena<sup>1</sup>

De acordo com Ferreira e Santos (2017), o sistema de criação de frangos em instalações Convencional não dispõe de um sistema tecnológico de controle artificial da temperatura e umidade, sendo estes efetuados principalmente pelo manejo das cortinas externas dos aviários ou pelo acionamento de ventiladores dispostos em seu interior. Sendo assim, constitui-se em um sistema que requer maior mão de obra por parte do avicultor, precisando estar sempre atento à necessidade das aves por um ambiente mais propício e adequado ao seu desempenho.

### **2.3.2 Construções com Sistema Adiabático Evaporativo**

De acordo com Vigoderis *et al.* (2014), em climas tropicais e subtropicais, os altos valores de temperatura, sobretudo no verão, têm sido limitantes para o máximo aproveitamento do potencial genético das aves. Como alternativa, busca-se amenizar os efeitos das altas temperaturas no interior das instalações, com o acondicionamento térmico, por meio do Sistema de Resfriamento Adiabático Evaporativo (SRAE) (Figura 3A), forçando a passagem do ar externo através de um material poroso umedecido (Figura 3B), através de exaustores (Figura 3C).

---

<sup>1</sup> Disponível em: <http://criacaodeanimais.blogspot.com.br/2008/12/instalaes-para-frango-de-corte.html>; Acesso em jan. 2018.



**Figura 3.** A) Vista interna, B) vista externa do material poroso e C) Exaustores. Fonte: Avicultura Industrial.<sup>2</sup>

Segundo Ali *et al.* (1999), Arbel *et al.* (1999) e Tinoco (1998), o sistema de resfriamento evaporativo se tornou padrão em muitas instalações avícolas e casas de vegetação, sendo também usado no arrefecimento de instalações. Entretanto, apresentam inconvenientes, como um alto custo e baixa durabilidade.

<sup>2</sup> Disponível em: <https://www.aviculturaindustrial.com.br/imprensa/galpoes-climatizados-uma-ferramenta-eficiente-aliada-a-alta-productividade/20170201-144126-c248>; Acesso em jan. 2018

### 2.3.3 Construções Dark House

Após a consolidação da importância do uso de instalações climatizadas com SRAE, estas passaram por um processo de modernização dando origem aos sistemas conhecidos como Dark House (Figura 4). São estruturas totalmente vedadas, com cortinas laterais do tipo blackout e ventilação negativa em modo túnel (exaustores) (Figura 4A). Shimokomaki *et al.*, (2017) e Benson *et al.* (2013) estudaram o sistema que verificaram que este proporciona resultados significativos de conversão alimentar aos animais alojados quando comparado ao sistema convencional, decorrente de um melhor conforto térmico proporcionado pelo sistema.

Além disso, o ambiente interno geralmente possui forro de lona plástica da cor preta e luminosidade controlada com lâmpadas de LED, no caso de avicultura totalmente fechado (Figura 4B), ocasionando baixo consumo de energia elétrica. Isso também faz com que as aves fiquem mais calmas, trazendo um melhor resultado zootécnico e maior retorno financeiro (GALLO, 2009; ROSA *et al.*, 2017; CRISTO *et al.*, 2017).





**Figura 4.** A) Vista externa e B) Vista interna construção tipo Dark House Fonte: Túlio Medeiros Marçal<sup>3</sup>.

De acordo com os números apurados entre as integradoras do Brasil e de outros países, o sistema de criação em Dark House é viável técnica e economicamente, não somente para a integradora, mas também para o integrado, devido ao maior número de aves que podem ser alojadas, com melhores índices de desempenho, resultando assim em um aumento da remuneração do produtor, compensando os investimentos nessa tecnologia, como afirma Rovaris *et al.*, (2014).

#### 2.3.4 Construções Isotérmicas

No sistema isotérmico destaca-se que a pressão negativa requer bastante atenção. Esses galpões são utilizados basicamente como aviários e para que funcionem de maneira eficiente, existe a necessidade que estejam bem isolados e vedados. O isolamento faz com que as condições internas sejam totalmente independentes do exterior, ou seja, não deixa que o frio ou calor, o sol e o vento do ambiente externo interfira no ambiente interno. Também tem como característica um menor custo com manutenção periódica e maior eficiência do sistema de vedação (ABREU; ABREU, 2011).

As construções do tipo Isotérmica vêm se evidenciando por possuírem um processo de execução acelerada, manutenção reduzida, menor gasto energético com os sistemas de arrefecimento térmico devido ao menor acionamento decorrente do adequado isolamento das

<sup>3</sup> Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAezVEAA/utilizacao-sistema-dark-house> . Acesso em abr. 2018

paredes e teto, melhor controle sanitário decorrente da facilidade de lavagem e possibilidade de trabalhar com ventilação estática, dinâmica ou mista (FERREIRA, 2017).

A instalação tipo Isotérmica deve ser construída com fechamento lateral composto por Iso Painéis de poliestireno extrudado, pintados na cor branca, sobre uma mureta de concreto (Figura 5A) e em seu interior, todo forrado por painéis isotérmicos sob o telhado, com iluminação de LED (Figura 5B) (FERREIRA, 2017).



**Figura 5.** Vista interna de instalação do tipo Isotérmico. Fonte: FERREIRA (2017).

O resfriamento interno é obtido da mesma forma que nos galpões tipo Dark House, por meio de painéis adiabáticos evaporativos instalados em uma das extremidades do aviário e, na direção oposta, um conjunto de exaustores que proporcionam a troca de ar. Porém, devido ao elevado custo de implantação, os galpões do tipo Dark House ainda são os mais utilizados na atividade avícola, sendo por isso os galpões comumente financiáveis por parte dos Bancos que investem nesta atividade.

## **2.4 Automação de Processos**

Uma importante técnica que auxilia na economia de energia é a automação, que nada mais é que a utilização dos conhecimentos em automação para trazer benefícios ao seu usuário, seja em relação ao conforto, ou no que diz respeito ao gerenciamento de energia.

Nesse contexto, a eficiência energética se apresenta como uma das soluções que agregam mais benefícios, tanto ambientais, como econômicos e sociais. (PROCEL, 2012).

Atualmente, diversas tecnologias sofisticadas de inteligência embarcada já cumprem o papel da automatização no cenário agrícola, principalmente por meio da coleta e análise dos dados de sensores, sistemas de geolocalização e controladores industriais, com o objetivo de monitorar as mais diversas variáveis ligadas aos aspectos de produção, auxiliando na evolução da agricultura de precisão e aprimoramento dos sistemas de apoio à decisão. (MASSRUHÁ, 2015).

Apesar de o Brasil estar evoluindo quanto à aplicação de recursos tecnológicos na agricultura, grande parte dos produtores ainda carece de informações e tecnologias adequadas e acessíveis (LOPES; CONTINI, 2012). Neste contexto, a Internet das Coisas (IoT) vem revolucionando o conceito de automação nas mais diversas áreas, com sistemas cada vez mais inteligentes e tangíveis (LACERDA; LIMA-MARQUES, 2015).

Segundo Ferreira (1985), a definição de automação é “sistemas automáticos de controle, pelo qual os mecanismos verificam seu próprio funcionamento, efetuando medições e introduzindo correções, sem a interferência do homem”. Na década de 1940 nos Estados Unidos, conceituavam a automação como uma forma de substituir o trabalho humano com o intuito de obter maior controle sobre a produção (GOEKING, 2010). Então, simplificando a automação, Seleme e Seleme (2013) descreveram como:

“[...] a tecnologia pela qual um processo ou procedimento é realizado sem a ajuda humana, que utiliza, para sua execução, um programa de instruções combinado com um sistema de controle”.

A automação é composta por três partes principais de igual importância, sendo elas: entrada; processamento e saída. A Entrada é responsável pela coleta de informações que podem ser recebidas através de sensores, IHM (Interface-Homem-Máquina) que são teclados e botões, ou até mesmo informações de outros dispositivos. O Processamento é responsável em determinar as ações que serão tomadas em função dos dados de entrada, e a partir disso, a máquina responsável pelo Processamento aciona os atuadores, esse comando é denominado Saída, ou seja, a Saída é a atuação dos dispositivos que se deseja automatizar, sendo eles motores, lâmpadas, aquecedores, etc.

### 2.4.1 Transdutores e Sensores

Transdutores são equipamentos que tem a capacidade de transformar um modo de energia de entrada em outra forma de energia na saída, transformando este valor físico de entrada em um sinal analógico na saída, a maioria dos transdutores emitem na saída um valor de tensão ou de corrente medida em miliamperes – mA (SANTOS, GONÇALVES 1998).

Segundo o Vocabulário Internacional de Metrologia (VIM, 2012), sensores são elementos de sistemas de medição que são diretamente afetados por um fenômeno, corpo ou substância que contém a grandeza a ser medida. Já um transdutor é um dispositivo utilizado em medição, que fornece uma grandeza de saída, a qual tem uma relação especificada com uma grandeza de entrada.

A temperatura termodinâmica, uma das sete grandezas de base do Sistema Internacional de Grandezas, pode ser medida por meio do contato físico de dispositivos mecânicos ou elétricos, que requerem o equilíbrio térmico, ou sem contato utilizando pirômetros para medir a radiação emitida pelos corpos cuja temperatura deve ser medida (VIM, 2012).

Dentre os transdutores para medição de temperatura por meio de contato, têm-se termômetros de líquido em vidro, termômetros bimetálicos, termômetros de gás, termopares, termistores, termômetros de resistências.

Os Termopares são os transdutores mais utilizados por indústrias, devido a sua simplicidade, confiabilidade, baixo custo e robustez (MOREIRA, 2002). O termopar é um transdutor ativo que não necessita de alimentação externa, isto é, o próprio transdutor gera uma força eletromotriz. Seu funcionamento é baseado na junção de dois metais diferentes, condutores ou semicondutores. Uma junção é chamada de junta de referência ou junta fria, da qual a temperatura é conhecida e a junta de medição ou junta quente se encontra no local em que se deseja medir/conhecer a temperatura.

As termoresistências ou bulbos de resistência ou termômetro de resistência ou *resistance temperature detector* (RTD) são transdutores que se baseiam no princípio de variação da resistência ôhmica em função da temperatura. Estes transdutores de temperatura possuem grande exatidão e excelente repetitividade de leitura. O elemento sensor da termoresistência consiste em uma resistência na forma de fio, que pode ser de platina com alta pureza, de níquel ou de cobre, encapsulado num bulbo de cerâmica ou de vidro (OLIVEIRA et. al, 2009).

Ainda segundo Oliveira *et al.* (2009), o material mais utilizado é a platina, a qual se padronizou, pois apresenta uma ampla escala de temperatura, uma alta resistividade permitindo assim uma maior sensibilidade, um alto coeficiente de variação de resistência com a temperatura, uma boa linearidade da resistência versus temperatura, por ter rigidez e ductibilidade para ser transformada em fios finos, além de ser obtida em forma puríssima.

### **Sensor de Temperatura e Umidade Relativa – DHT**

O DHT é um sensor básico e de baixo custo que utiliza um termistor e um sensor capacitivo para medir a temperatura e a umidade do ar ambiente. Esse sensor é bastante simples de usar, mas requer cuidado com o tempo entre duas leituras consecutivas, uma vez que é necessário um intervalo de, no mínimo, um segundo entre uma leitura e outra.

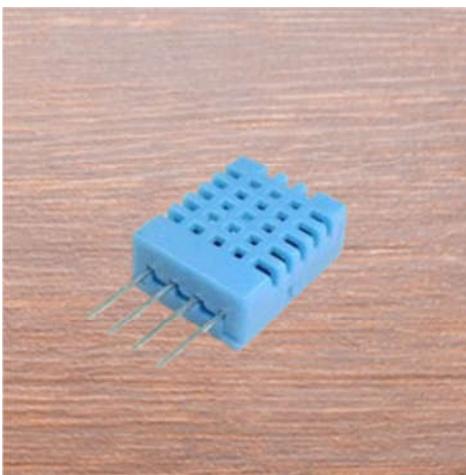
O sensor DHT22, também chamado de AM2302, integra um sensor de umidade e um sensor de temperatura em um só módulo. Ele fornece tanto temperatura quanto umidade do ar instantaneamente. Ele utiliza um sensor capacitivo de umidade e um termistor para medir o ar circundante, ambos conectados a um controlador de 8 bits que produz um sinal digital serial no pino de dados (Data). O sensor DHT22 - AM2302 permite medir temperaturas de - 40 a 80° Celsius, e umidade na faixa de 0 a 100 %. Sua faixa de precisão para temperatura é de 0.5 grau, e para umidade é de 2% (Mota, 2015), (

Figura 6).



**Figura 6.** Sensor de Temperatura e Umidade Relativa do ar DHT22, Fonte: Autor

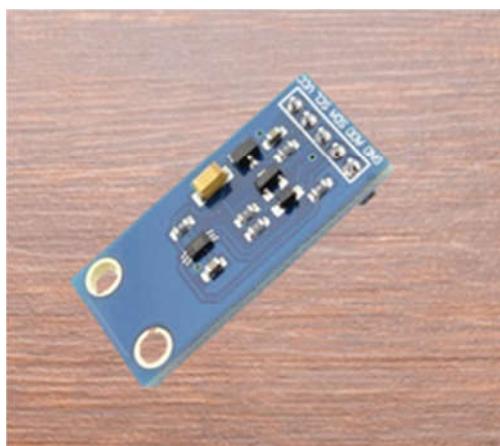
O Sensor de Umidade e Temperatura DHT11 é um sensor de temperatura e umidade que permite fazer leituras de temperaturas entre 0 a 50 Celsius e umidade entre 20 a 90%, muito usado para projetos com Arduino. O elemento sensor de temperatura é um termistor do tipo NTC e o sensor de Umidade é do tipo HR202, o circuito interno faz a leitura dos sensores e se comunica a um microcontrolador através de um sinal serial de uma via. Sua faixa de precisão para temperatura é de 1 grau, e para umidade é de 5% (Mota, 2015), Figura 7.



**Figura 7.** Sensor de Temperatura e Umidade Relativa do ar DHT11, Fonte: Autor

#### **Sensor de Luminosidade – BH1750**

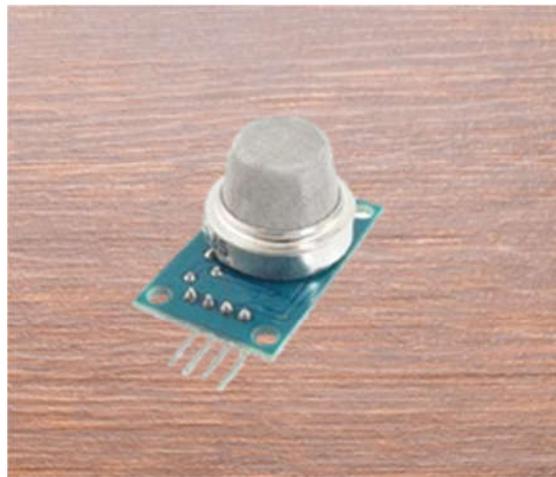
O BH1750 é um sensor de intensidade de luz, medindo valores em Lux, sua faixa de medição estende-se de 1 a 65535 lux, (Figura 8).



**Figura 8.** Sensor de luminosidade BH1750, Fonte: Autor

### Sensor de Gases Tóxicos – MQ135

O MQ-135 é um sensor de gás com a capacidade de detectar a concentração de vários gases tóxicos em um ambiente, tais como: amônia, dióxido de carbono, benzeno, óxido nítrico e também fumaça ou álcool. Esse sensor de baixo custo para gás combustível, é do tipo eletro-catalítico, tal denominação está relacionada com seu princípio de funcionamento. O MQ-135 é composto por uma bobina de fio de platina aquecido eletricamente, coberto primeiro com uma base de cerâmica, tais como alumina e, em seguida, com um revestimento final exterior do catalisador de paládio ou ródio disperso em um substrato de tório (MOTA, 2015) (Figura 9).



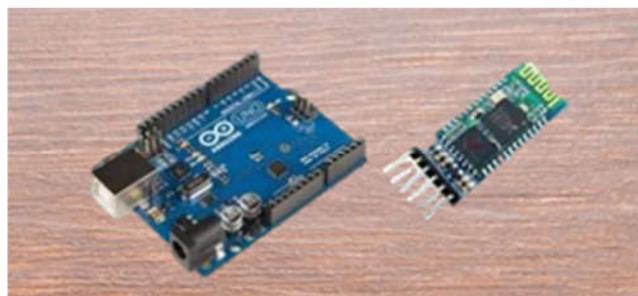
**Figura 9.** Sensor de gases tóxicos MQ135, Fonte: Autor

#### 2.4.2 Shields e Módulos

Os *Shields* ou módulos são placas que podem ser conectadas ao microcontrolador, estendendo seus recursos. Embora comumente há confusão entre os termos, a diferença entre *Shields* e módulo está na conexão com o microcontrolador. Enquanto que *Shields* são placas que se conectam perfeitamente ao microcontrolador (Figura 10), os módulos são placas que se conectam através de fios (Figura 11).



**Figura 10.** Microcontrolador Arduino Uno (baixo) e Shield Ethernet (cima), Fonte: Autor.



**Figura 11.** Microcontrolador Arduino Uno (esquerda) e módulo Bluetooth (direita), Fonte: Autor

### **Módulo RTC (Real Time Clock)**

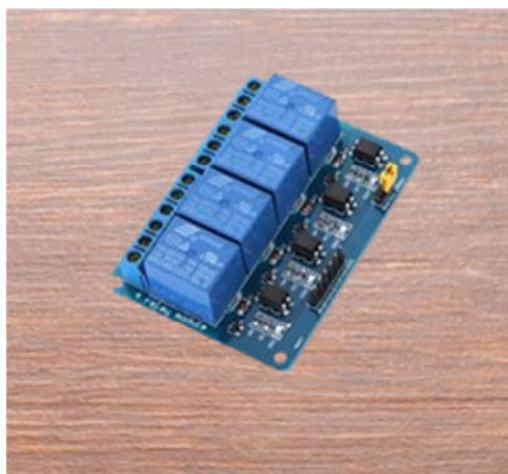
O RTC (Real Time Clock) é um módulo que fornece ao microcontrolador informações como segundo, minutos, dia, data, mês e ano. Tem correção automática para meses com menos de 31 dias e para anos bissextos. Ele possui ainda uma EEPROM 24C32, que pode ser usada para gravar dados (Figura 12).



**Figura 12.** Módulo RTC, Fonte: Autor

### **Módulo Relay**

Este módulo possui *relays* que servem para acionar os atuadores, como uma forma de isolar o microcontrolador das cargas. Assim, utilizando uma saída digital de 5 volts do microcontrolador, é possível acionar motores, lâmpadas, resistências de até 250 volts e 10 amperes sem que a tensão e a corrente de trabalho destes equipamentos coloque em risco o microcontrolador. Este módulo pode conter de um relay até 16 relay no mesmo circuito, na Figura 13 mostra um módulo com quatro relays, também chamado de canais.



**Figura 13.** Módulo Relay com quatro canais, Fonte: Autor

### Módulo MicroSd

Este módulo permite ao microcontrolador realizar a escrita e leitura de dados em um cartão de memória microSD (Figura 14).



**Figura 14.** Módulo leitor de cartão de memória microSD, Fonte: Autor

### Módulo NRF24L01

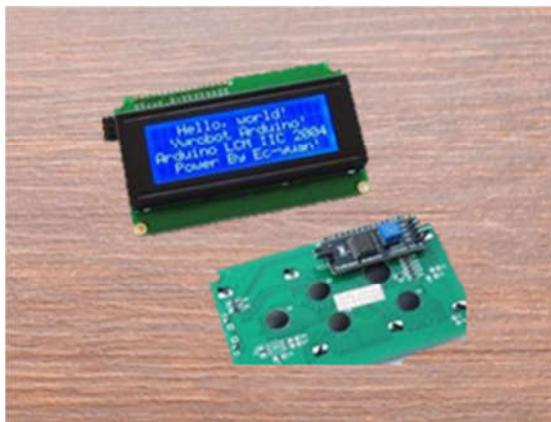
O módulo NRF24L01 permite ao microcontrolador se comunicar com outro microcontrolador via *wireless* na frequência de 2.4GHz. Este módulo é um transceptor, ou seja, o mesmo equipamento pode funcionar tanto como transmissor quanto receptor, entretanto esse módulo somente se comunica com outro igual (Figura 15).



**Figura 15.** Módulo transceptor NRF24L01, Fonte: Autor

## Módulo Display LCD 2004

Este módulo é um display de cristal líquido com 20 colunas e 04 linhas, daí o nome Display LCD 2004, e quando conectado ao microcontrolador permite então que seja mostrado informações desejáveis como texto e números, na Figura 16 é possível ver um Display com sua tela de apresentação.



**Figura 16.** Módulo display LCD 2004, Fonte: Autor

### 2.4.3 Controladores Lógicos Programáveis – CLP

O Controlador Lógico Programável (CLP) é o responsável pelo controle de processo de uma determinada máquina. Por meio da sua memória programável, ele armazena a lógica de funcionamento e a realiza com suas entradas e saídas. O CLP é o equipamento que está no meio de uma automação, é nele que as entradas estão conectadas, em que está toda a programação podendo ser em diversas linguagens, como por exemplo: Ladder, C++, Blocos, etc., e é o CLP que aciona os atuadores através de suas saídas em função das entradas e da programação.

Entende-se como sistema de controle um grupo de dispositivos que gerenciam o comportamento de outros dispositivos. Sistemas de controles lógicos para a indústria e equipamentos comerciais foram historicamente implementados através da lógica de relés, projetados utilizando a lógica Ladder. Atualmente, a maioria dos sistemas são implementados através de CLP's ou microcontroladores, de modo que o controle automático possui um papel fundamental no avanço da engenharia e da ciência.

Com os avanços no controle automático, na teoria e na prática, vêm surgindo meios para otimizar o desempenho dos sistemas dinâmicos, melhorar a produtividade, proporcionar conforto e diminuir o trabalho árduo de várias rotinas de operações manuais repetitivas. De acordo com Ogata (2005), o controle eficiente e robusto de variáveis como temperatura, luminosidade, cor, nível, umidade e vazão, por exemplo, garante o bom desempenho de um processo automatizado já que essas variáveis influenciam diretamente na qualidade e nos custos dos produtos produzidos. A proliferação das metodologias de controle pode ser atribuídas aos avanços realizados na indústria eletrônica, especialmente no desenvolvimento de dispositivos computacionais de baixo custo (COELHO, ALMEIDA E COELHO, 2003).

### **Microcontroladores**

Os microcontroladores são usados em tudo, desde sistemas relativamente simples, como máquinas de lavar roupa e aspiradores a sistemas muito mais avançados, como carros e robôs. Em uma configuração educacional ou de teste, esses microcontroladores são frequentemente montados em placas de desenvolvimento para facilitar a sua programação e integrá-los em sistemas de teste. Essas placas de desenvolvimento, como padrão, possuem uma porta USB para comunicação com um computador, tornando o acesso aos pinos de comunicação mais simples do que utilizando somente o microcontrolador (GRAVEN; BJØRK, 2016). Esse tipo de equipamento permite receber informações geradas pela leitura de sensores e, a partir dessas, gerar comandos para atuadores ou transmitir dados via módulos de comunicação (TORRES *et al.*, 2015).

### **Microcontrolador Arduino Nano**

O Arduino Nano é uma placa pequena, baseada no ATmega328P, pode ser alimentado através da conexão USB Mini-B, fonte de alimentação externa não regulada de 6-20V (pino 30) ou fonte de alimentação externa regulada de 5V. A fonte de energia é automaticamente selecionada para a fonte de tensão mais alta.

O Arduino Nano (Figura 17), possui 14 pinos digitais que podem ser usados como entradas ou saídas, com sinal digital de 5 volts. Ele possui também 8 entradas analógicas, cada uma das quais fornece 10 bits de resolução (ou seja, 1024 valores diferentes). Por padrão, eles medem de 0v a 5v. O ATmega328P utilizado neste microcontrolador tem 32 KB de memória (Arduino Project Foundation 2018).

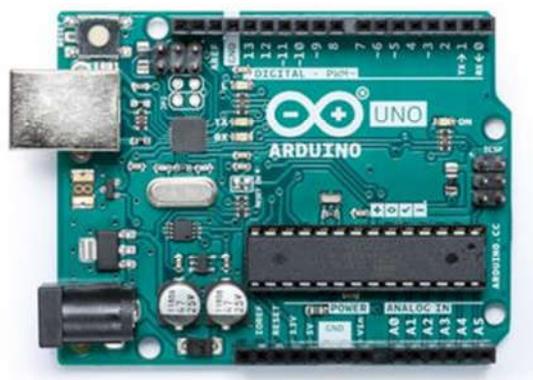


**Figura 17.** Microcontrolador Arduino Nano, Fonte: Arduino Project Foundation

### **Microcontrolador Arduino Uno**

Arduino Uno é uma placa microcontroladora baseada no ATmega328P com 32 kB de memória. Possui 14 portas digitais, 6 entradas analógicas que recebem os nomes de A0 a A5 das quais fornece 10 de bits de resolução, ou seja, de 0 a 1024. "Uno" significa um em italiano e foi escolhido para marcar o lançamento do Arduino Software (IDE) 1.0. A placa Uno e a versão 1.0 do Arduino Software (IDE) foram as versões de referência do Arduino.

A placa do Arduino Uno pode ser alimentada via conexão USB (5v) ou com uma fonte de alimentação externa. A fonte de energia é selecionada automaticamente, o intervalo recomendado é de 7 a 12 volts. Essa é a placa recomendada para iniciantes em programação de microcontroladores, pois é robusta, é a que possui maior número de *Shields* e é a mais popularizada.



**Figura 18.** Microcontrolador Arduino Uno, Fonte: Arduino Project Foundation

## Microcontrolador Arduino Mega

O Arduino Mega é a placa recomendada para trabalho mais complexos, pois possui maior número de portas digitais, 54 que funcionam como entrada ou saída, 16 pinos analógicos, mais memória. O Arduino Mega é baseado no microcontrolador Atmega2560. A alimentação do Arduino Mega é idêntica às outras placas Arduino.



**Figura 19.** Microcontrolador Arduino Mega, Fonte: Arduino Project Foundation

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

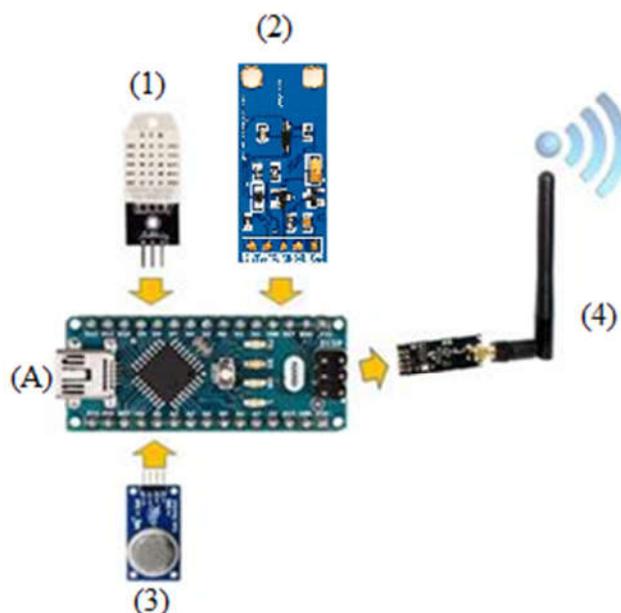
A pesquisa foi realizada no laboratório de Construções Rurais e Ambiente (CRA) da Faculdade de Ciências Agrárias (FCA) da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), localizado no município de Dourados - MS, Lon 54°,59' W; Lat 22°,14' S, Alt 463 metros, clima do tipo Am Monçônico, que se caracteriza por possuir verões quentes e invernos secos conforme classificação de Köppen (Alvares et al, 2013).

#### **3.1 Montagem do Hardware**

Foram desenvolvidos dois hardwares distintos, sendo que um é o emissor de temperatura e umidade relativa do ar, gases tóxicos e luminosidade, e o outro é a central que recebe estes valores, armazena e apresenta via display.

##### **3.1.1 Emissores**

Nesta etapa foram montados os sensores de temperatura, umidade relativa do ar, luminosidade, gases tóxicos e o módulo emissor via rádio NRF24L01 ao microcontrolador Arduino Nano. De acordo com a Figura 20 pode ser observada uma ilustração, do DHT22 (1) que coleta e transfere ao Arduino (A) valores de temperatura e umidade relativa do ar via porta digital D4. O sensor de luminosidade (2) envia o valor de luminosidade em lux através da comunicação I2C, e o sensor de concentração de gases (3) mensura e envia valores via porta analógica A1. O Arduino Nano (A) então processa essas informações e envia através do NRF24L01 (4) via SPI, a qual utiliza as portas digitais D9, D10, D11, D12 e D13.

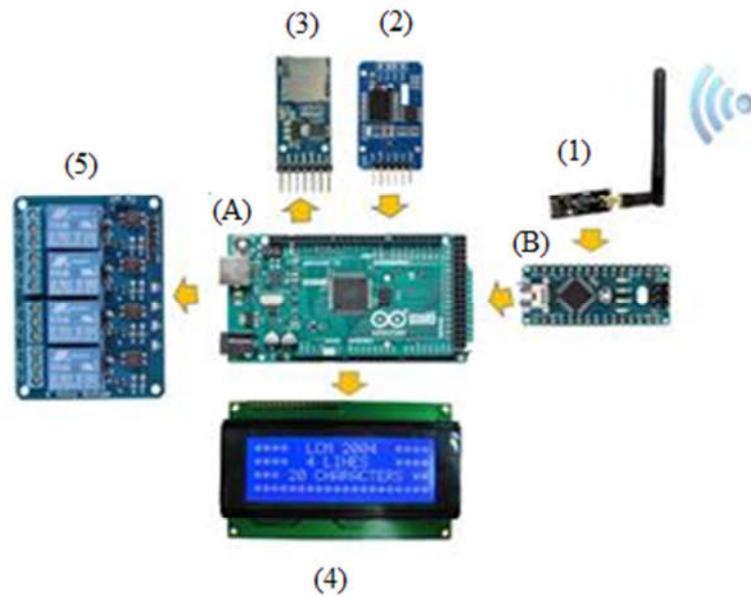


**Figura 20.** Ilustração esquemática dos componentes do emissor, Fonte: Autor.

### 3.1.2 Receptor

Nesta etapa foi montada a central responsável por receber os dados dos sensores via rádio frequência através do módulo NRF24L01 (1), receber também através do RTC (2) a data e a hora real, armazenar os valores em um cartão de memória MicroSd utilizando para isso um módulo de leitura para cartões de memória (3), apresentar os valores de temperatura, umidade, concentração de gases, luminosidade, data, hora, índice de conforto, etc., no display LCD (4) e acionar os atuadores através do módulo relay (5) de acordo com a programação.

Inicialmente o receptor teria apenas o Arduino Mega (A) como microcontrolador, porém isso não foi possível devido ao módulo MicroSd e o módulo NRF24L01 utilizarem as mesmas portas de comunicação SPI, o que impediu que os dois atuassem em simultâneo. Para isso, foi utilizado o Arduino Nano (B) para fazer a ponte entre o módulo NRF24L01 e o Arduino Mega, assim, o Nano recebe os valores via rádio através da comunicação SPI e envia para o Mega através da comunicação I2C, Figura 21.



**Figura 21.** Ilustração esquemática da central, Fonte: Autor

## 3.2 Programação do Software

Diferente um pouco da montagem do Hardware que foram apenas duas etapas, a programação do software foi dividida em três etapas sendo uma responsável pelo Arduino Nano emissor, uma para o Arduino Nano receptor e uma para o Arduino Mega. Para ambas as programações, foi utilizada a IDE (Ambiente de Desenvolvimento Integrado) do próprio Arduino.

Todas as programações seguem uma mesma sequência, em que primeiro são adicionadas as bibliotecas que por ventura serão usadas no algoritmo, posterior à isso é declarada as variáveis.

### 3.2.1 Arduino Nano Emissor

Na programação dos emissores foi preciso incluir as bibliotecas do sensor DHT22, da comunicação I2C, do sensor de luminosidade e do rádio NRF24L01. O sensor de concentração de gases não utiliza bibliotecas, pois envia os valores mensurados via porta analógica, sendo necessário apenas suas leituras pelo Arduino Nano.

Para a operação do rádio foi preciso incluir outras novas bibliotecas, sendo uma para habilitar a comunicação SPI e outra para habilitar o rádio e operá-lo em modo *Network*, ou seja, não apenas uma comunicação ponto-a-ponto, mas sim vários emissores e um receptor, como pode ser visto na Figura 22.

A screenshot of an Arduino IDE terminal window. The window title is "nano-emissor-preto2 \$". The terminal displays the following code:

```
#include <BH1750.h>
#include <Wire.h>
#include <DHT.h>
#include <RF24Network.h>
#include <RF24.h>
#include <SPI.h>
```

**Figura 22.** Cópia da tela da inclusão das bibliotecas na programação do Arduino Nano emissor, Fonte: Autor.

Na Figura 23 é mostrado como o programa faz a leitura e o envio dos valores mensurados.

```

void loop() {
  network.update(); // Verifica a rede regularmente
  float h = dht.getHumidity(); // Lê a umidade
  float t = dht.getTemperature();
  inamonia = analogRead(ail);
  int nh3 = map(inamonia, 0, 1024, 10, 100);
  int lux = BH1750.readLightLevel;

  message = (message_t){ hotspot, t, h, nh3, lux };
  header.type = 't';
  if (network.write(header, &message, sizeof(message))) {
    Serial.println("Mensagem enviada\n");
  } else {
    Serial.println("Não foi possível enviar\n");
  }
  // Aguarda envio
  delay(interval);
  Serial.print("\t");
  Serial.print(t);
  Serial.print("\t");
  Serial.print(h);
  Serial.print("\t");
  Serial.print(nh3);
  Serial.print("\t");
  Serial.println(lux);
}

```

**Figura 23.** Cópia da tela da leitura e envio dos dados pelo Arduino Nano, Fonte: Autor

Os sensores DHT22 foram submetidos à um teste de calibração, comparando os valores de Temperatura e Umidade Relativa do ar que os sensores mensuravam com outros sensores, porém estes calibrados pelo INMETRO. Ao final do teste foi criada uma equação de correção que melhor se ajustou e foi inserida na programação.

### 3.2.2 Arduino Nano Receptor

Semelhante à programação do Emissor, o Arduino responsável pela recepção dos valores também precisou das bibliotecas responsáveis pela comunicação via rádio e também para que este funcione em modo Network.

Outra biblioteca que precisou ser incluída no receptor foi a responsável pela comunicação via I2C, que é a qual o Arduino Nano Receptor utiliza para enviar para o Arduino Mega os valores que são recebidos dos emissores.



```

nano-receptor2 | Arduino 1.8.5
Arquivo Editar Sketch Ferramentas Ajuda
nano-receptor2 $
#include <RF24Network.h>
#include <RF24.h>
#include <SPI.h>
#include <Wire.h>

```

**Figura 24.** Cópia da tela da inclusão das bibliotecas do Arduino Nano Receptor.

Fonte: Autor

Resumindo o funcionamento do receptor, o Arduino Receptor recebe então os valores enviados pelos Arduinos Emissores, descobre de qual emissor é e envia para o Arduino Mega via I2C.

### 3.2.3 Arduino Mega

Para o perfeito funcionamento do Arduino Mega, o principal microcontrolador da central, foi preciso incluir sete bibliotecas, responsáveis pela habilitação da comunicação SPI e I2C, habilitar o modo de controle para trabalhar com escrita e leitura de arquivos em memória SD, incluir controle para display LCD, uma biblioteca para receber os dados de hora e data do RTC, uma biblioteca que adiciona funcionalidades para trabalhar com variáveis do tipo *time*, e por último uma biblioteca que permite ao Arduino utilizar a memória *EEPROM*.

```

#include <SPI.h>
#include <SD.h>
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <Time.h>
#include "DS3231.h"
#define DS1307_ADDRESS 0x68
#include <EEPROM.h>

```

**Figura 25.** Cópia da tela da inclusão das bibliotecas para o Arduino Mega. Fonte:

Autor

O Arduino possui uma memória interna chamada EEPROM, a qual é possível salvar valores e ser utilizada posteriormente mesmo após o reinício do Arduino, entretanto ela é limitada, tanto no tamanho quanto na quantidade de escrita e leitura.

Para criar o *datalogger* então, tendo essa limitação da memória EEPROM, foi utilizado um módulo MicroSd, permitindo assim ao microcontrolador salvar as variáveis desejadas em um cartão MicroSd.

Utilizando o módulo RTC é possível saber o dia e a hora atual, facilitando a criação dos arquivos no *datalogger*, pois é possível criar um arquivo de texto por dia, e armazenando as variáveis desejadas em um intervalo determinado podendo ser em minutos ou horas, neste caso é armazenado a cada 3 minutos a data, hora, UR1, Ta1, h1, amonia1, lux1, UR2, Ta2, h2, amonia2, lux2, idade e a condição de conforto.

Com os valores de temperatura e umidade relativa do ar foi possível calcular a Entalpia do ar, o qual é utilizado para determinar a condição de conforto que a ave está submetida em função da Tabela 1, entretanto para isso é necessário saber a idade da ave.

Para determinar a idade da ave, é necessário que alimente o Arduino com a data de nascimento das mesmas. Para o cálculo da idade, é utilizada uma função chamada *unixtime*, que calcula a quantidade de segundos entre a data de 1 de janeiro de 1970 as 0:00:00 até uma data informada, assim é utilizada duas vezes essa função, primeiro para calcular a quantidade de segundos entre a data de nascimento das aves com a data base da função, segundo com o dia atual até a data base da função. A idade das aves será a diferença entre os dois resultados, dividindo o valor por 86400 que é a quantidade de segundos por dia, assim a idade será em dias.

No display LCD é apresentada a data e hora, valores de temperatura e umidade relativa do ar, concentração de amônia e entalpia por sensor, entalpia media, situação de conforto em função da entalpia e idade em dias, média de concentração de amônia, concentração mínima necessária de amônia para atuação do exaustor e também é apresentado situação dos atuadores, sendo eles: Aquecedor, Nebulizador/Ventilador, Iluminação e Exaustor.

Para acionamento dos atuadores, o Arduino Mega utiliza o módulo Relay, o qual possui quatro canais, ou seja, pode ser acionado até quatro equipamentos em paralelo. O aquecedor é acionado sempre que a Entalpia estiver abaixo da faixa de conforto, ou seja, a situação de conforto será de Intermediário Frio, Crítica Frio ou Letal Frio. No oposto desta situação de conforto, o nebulizador e o ventilador serão acionados juntos, em um único canal do módulo relay, sempre que a entalpia média estiver acima da faixa de conforto. A

iluminação é acionada a partir do programa de luz estabelecido, tendo hora para ligar e hora para desligar, todos os dias. O exaustor será acionado sempre que concentração média de amônia foi maior que a estabelecida como limite, independente da situação de conforto, pois o exaustor tem por finalidade a renovação do ar.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

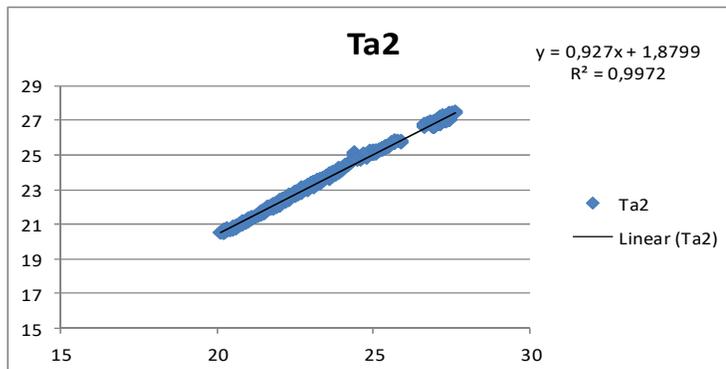
O Arduino Nano Emissor foi posto dentro uma caixa ABS IP65 de proteção, e do lado externo ficaram os três sensores, Figura 26. Um detalhe importante, é que o DHT22 não pode ficar ao lado do Mq-135, pois este aquece e interfere na leitura de temperatura.



**Figura 26.** Protótipo do Emissor, com os sensores à mostra. Fonte: Autor

Para utilização dos sensores DHT22 e BH1750, inicialmente fez-se sua calibração, comparando uma série de dados coletados juntos de sensores calibrados pelo INMETRO, como sugere Alves (2018).

Para a calibração dos DHT22, estes foram comparados com a média de três sensores calibrados pelo INMETRO da marca Novus®, modelo RHTAir com precisão de  $\pm 2^\circ$  para temperatura do ar e  $\pm 3\%$  para umidade relativa, e ao final da comparação, cada DHT22 teve uma equação de ajuste, utilizando o  $R^2$  do Microsoft Excel®, tanto para Temperatura quanto para Umidade Relativa. O Arduino coletou dados dos sensores DHT22 a cada 2 minutos, em um total de 913 coletas, e no mesmo período com o mesmo intervalo também foram armazenados os valores dos sensores calibrados. Na Figura 27 e Figura 28 é possível ver o gráfico do comparativo entre os sensores, sendo que as leituras do DHT22 ficaram no Eixo das abcissas e a média dos sensores calibrados ficaram no eixo das ordenadas.



**Figura 27.** Equação de calibração para Temperatura do ar. Fonte: Autor

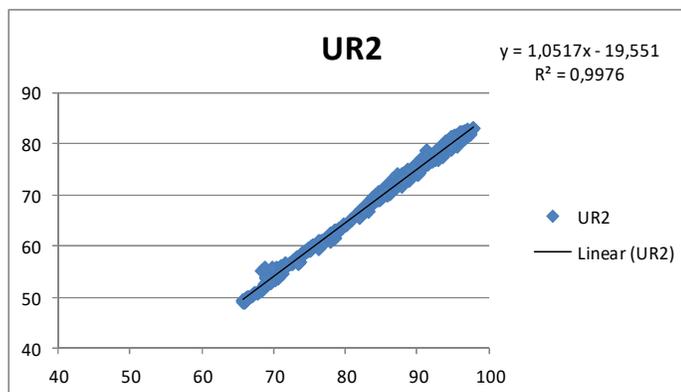
Para a correção dos valores de Temperatura, foi criada a Equação 3 a qual teve o coeficiente de determinação  $R^2$  de 0,9972.

$$Y = 0,927 * X + 1,8799 \quad (3)$$

Em que:

Y = valor de temperatura do ar corrigido, °C; e

X = valor de temperatura do ar do sensor DHT22, °C.



**Figura 28.** Equação de calibração para Umidade Relativa do ar. Fonte: Autor

Para a correção dos valores de Umidade Relativa do ar, foi criada a Equação 4, tendo o coeficiente de determinação  $R^2$  de 0,9976.

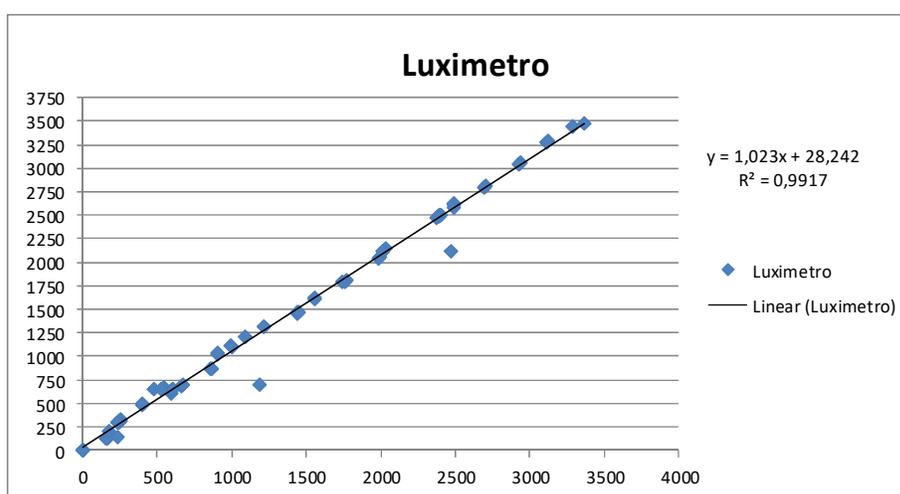
$$Y = 1,0517 * X - 19,551 \quad (4)$$

Em que:

Y = valor de umidade relativa corrigido, %; e

X = valor de umidade relativa do sensor DHT22, %.

Para a calibração dos sensores de luminosidade BH1750, este foi comparado com um Luxímetro digital calibrado pelo INMETRO, da marca Minipa, modelo MLM-1101, com precisão de  $\pm 4\%$ . Os sensores foram postos um ao lado do outro e sobre eles uma lâmpada incandescente com um variador de potência, deste modo foi possível variar a quantidade de lux emitida pela lâmpada permitindo a coleta de dados em vários níveis de luminosidade. Na Figura 29 é possível ver a comparação das leituras dos sensores de luminosidade, sendo que no Eixo X ficaram os valores lidos pelo BH1750 e no Eixo Y ficaram os valores lido pelo Luxímetro Digital atestado pelo INMETRO.



**Figura 29.** Equação de calibração do sensor de luminosidade BH1750. Fonte: Autor.

Para a correção dos valores de luminosidade, foi criada a Equação 5, tendo o coeficiente de determinação  $R^2$  de 0,9917.

$$Y = 1,023 * X + 28,242 \quad (5)$$

Em que:

Y = Valor corrigido de luminosidade, Lux; e

X = Valor lido de luminosidade, Lux.

Cunha (2013) desenvolveu um psicrômetro aspirado utilizando microcontrolador, após ajustes e calibração do equipamento a equação de correção obteve  $R^2$  de 0,989, demonstrando a precisão que estes sensores possui.

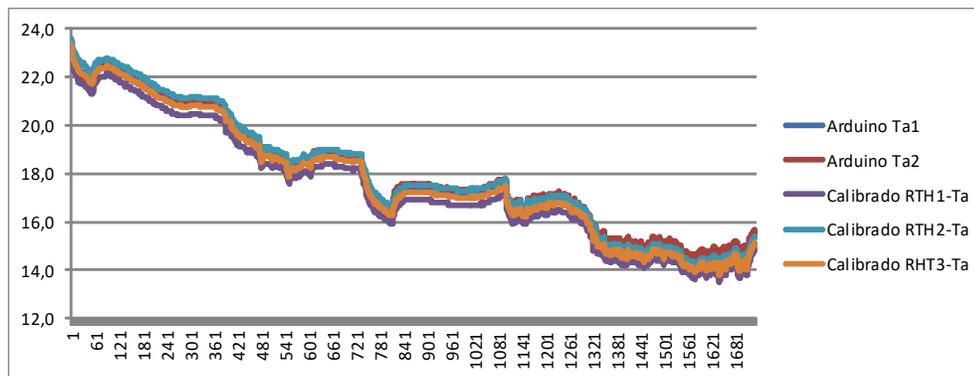
De acordo com Cunha e Martins (2004), em uma comparação entre sensores é importante que haja alta concordância ( $R^2 > 0,90$ ), garantindo assim que ambos os sensores sejam semelhantes entre si nas medidas obtidas.

Com as equações de correção prontas, elas são introduzidas na programação dos emissores, como mostra a Figura 30.

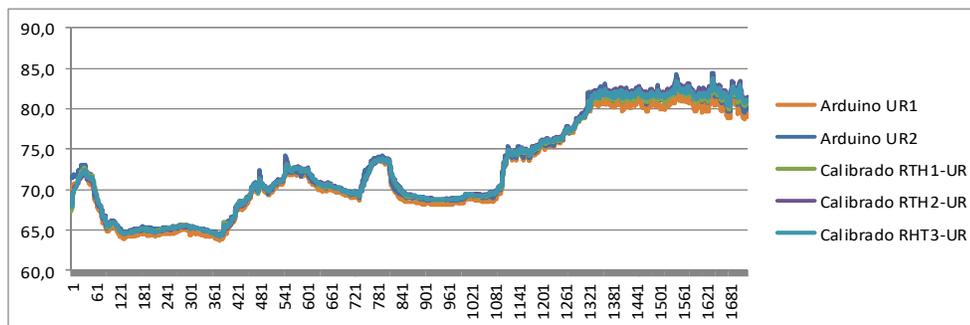
```
void loop() {
  network.update(); // Verifica a rede regularmente
  float rh = dht.getHumidity(); // Lê a umidade
  float h = ((1.0517 * rh) - 19.551);
  float ta = dht.getTemperature(); // Lê a temperatura em Celsius
  float t = ((0.927 * ta) + 1.8799);
  inamonia = analogRead(ail); // Lê a amonia
  int nh3 = map(inamonia, 0, 1024, 10, 100);
  float lx = BH1750.readLightLevel (); // Lê a luminosidade
  int lux = ((lx * 1.023) + 28.242);
}
```

**Figura 30.** Cópia da tela da programação do Arduino Emissor com as equações de correção. Fonte: Autor.

Após a inserção da equação de ajuste na programação, foi realizada uma nova coleta de dados. Coletou-se 1730 dados, com os mesmos dois minutos de intervalo entre as coletas. Ao final da coleta foi possível gerar um gráfico comparando as leituras de Temperatura e Umidade Relativa do ar dos sensores DHT22 e dos sensores calibrados pelo INMETRO. Não houve diferença significativa entre os sensores utilizando o teste t Student a 5% de probabilidade.

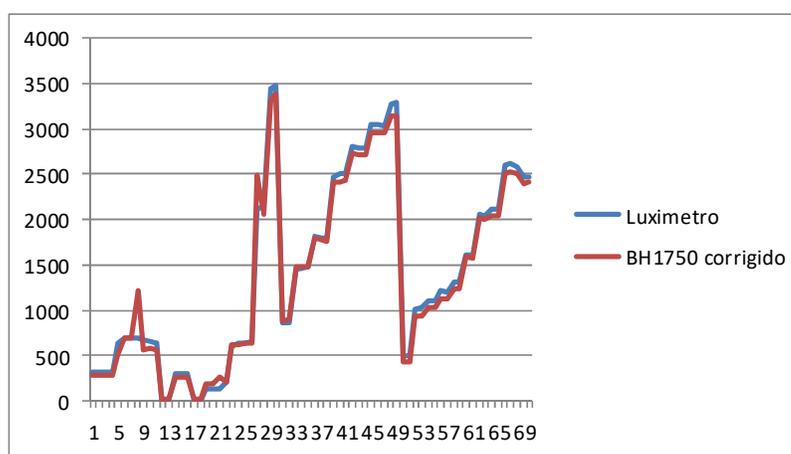


**Figura 31.** Dados de Temperatura dos sensores DHT22 após ajuste de calibração. Fonte: Autor



**Figura 32.** Dados de Umidade Relativa dos sensores DHT22 após calibração.  
Fonte: Autor.

Também foi realizada uma nova coleta com os sensores BH1750 após a equação de correção ser inserida na programação e com o Luxímetro Digital.



**Figura 33.** Dados de luminosidade após a correção do sensor BH1750 comparando com o Luxímetro. Fonte: Autor.

Os sensores DHT22 e BH1750 por serem precisos em suas leituras permitem que apenas uma equação seja o suficiente para calibrar se mostrando uma boa opção de escolha. Outros autores também calibraram o DHT22 e o BH1750 e estes não apresentaram mais erros significativos em suas leituras (OLIVEIRA JUNIOR, 2016), (SADLER *et al.*, 2016), (PEREIRA, 2017).

Após a coleta de dados já com os sensores corrigidos, foi aplicado o quadro ANOVA afim de verificar diferença entre os sensores, em todos os testes o  $F_{\text{calculado}}$  foi menor que o  $F_{\text{tabelado}}$ , aceitando a hipótese  $H_0$ , ou seja, não houve diferença significativa entre os sensores no teste de médias a 5% de probabilidade.

O Arduino Nano Receptor junto com o Arduino Mega ficaram em uma caixa única, já que ambos precisam estar conectados um ao outro, os mesmos foram postos em caixa de ABS de IP65 de proteção. Foram feitos furos e recortes na caixa para que o Display LCD, a antena do rádio NRF24L01, os conectores do módulo relay, botões e o cabo de alimentação ficassem na parte externa (Figura 34) e (Figura 35).



**Figura 34.** Central Receptora com display, botões e antena. Fonte: Autor



**Figura 35.** Central Receptora com display e módulo relay. Fonte: Autor

Para apresentação das variáveis desejadas foram criadas telas, que podem ser navegadas através do Botão Verde contido na caixa, são nove telas principais (Figura 36).



**Figura 36.** Telas apresentadas no Display da Central Eletrônica. Fonte: Autor

Em algumas telas durante a apresentação das informações é possível fazer algumas alterações, como por exemplo a concentração de amônia em que será acionado o exaustor, a hora em que será ligado o sistema de iluminação e a quantidade de horas do programa de luz, de forma bem intuitiva apenas apertando os Botões.

Também foi criada uma tela com o intuito de mostrar o *status* dos atuadores, assim em uma única tela é possível saber quais atuadores estão acionados.

A primeira e segunda tela mostram as propriedades físicas do ar, sendo elas Temperatura (Ta), Umidade Relativa (UR) e Entalpia (h). Os valores de Ta e UR os emissores já enviam os valores corrigidos, a entalpia o Arduino Mega calcula utilizando a Equação 1 (Figura 37).

```

op11 = ((7.5 * ta1) / (237.3 + ta1));
op12 = pow(10,op11);
entalpia1 = ((6.7 + (0.243 * ta1) + ((ur1 / 100) * op12)) * 4.18);
delay(300);
op21 = ((7.5 * ta2) / (237.3 + ta2));
op22 = pow(10,op21);
entalpia2 = ((6.7 + (0.243 * ta2) + ((ur2 / 100) * op22)) * 4.18);
delay(300);

```

**Figura 37.** Cálculo da Entalpia utilizando Equação 1. Fonte: Autor.

Na tela quatro é mostrado o resumo da condição de conforto, mostrando as variáveis principais, sendo elas, a idade, a Entalpia média e a situação de conforto. O h médio é calculado através da média aritmética entre h1 e h2, e em função da idade é dado a situação de

conforto conforme Figura 1. A idade é calculada utilizando a função *unixtime* do Arduino, (Figura 38).

```
// Calcular idade
diaatual = (now.unixtime() / 86400L); // Tempo em dias, da data atual até a data de 01/01/1970
diazero = (entrada.unixtime() / 86400L); // Tempo em dias, da data de nascimento até a data de 01/01/1970
idade = (diaatual - diazero); // A idade em dias é a diferença entre o dia atual e a data de nascimento
diact2 = dia;
```

**Figura 38.** Calculando idade utilizando a função *unixtime* do Arduino. Fonte: Autor

De acordo com a situação de conforto é acionado os equipamentos para controle, sempre que o h médio estiver abaixo da situação de conforto será acionado o aquecedor e no oposto, sempre que o h médio estiver acima da faixa de conforto será acionado o sistema responsável pelo resfriamento, na tela nove é apresentado com Nebulizador e Ventilador, pois serão acionados juntos.

Na tela seis é apresentada a média aritmética da concentração de amônia em ppm (partícula por milhão), e também é possível alterar o valor em que será acionado o Exaustor. Depois de acionado o Exaustor, este ficará ligado até que a média de concentração esteja dois ppm abaixo do valor de acionamento, o valor de histerese (dois) somente é modificado na programação (Figura 39).

```
if (mediaamonia >= vlnh) {
  digitalWrite (exaustor, HIGH);
  ctex = 1;
}
if (mediaamonia < vlnh) {
  digitalWrite (exaustor, LOW);
  ctex = 0;
}
```

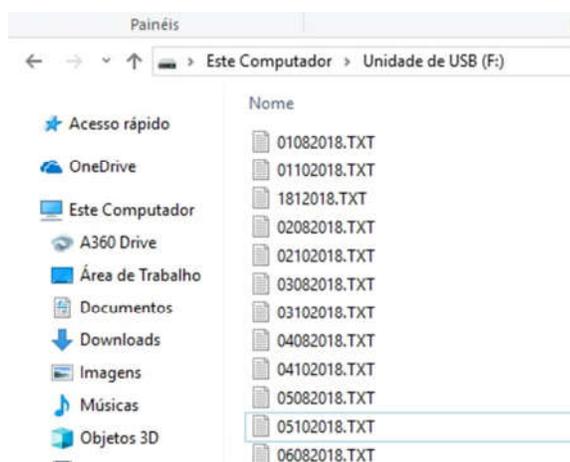
**Figura 39.** Acionamento do Exaustor e desligamento do Exaustor. Fonte: Autor.

A amônia é um gás irritante às mucosas, sendo formado a partir da decomposição microbiana do ácido úrico. Quando a quantidade de amônia inalada é superior a 60 ppm a ave fica predisposta a doenças respiratórias, entretanto para longos períodos de exposição é recomendado que a concentração não seja superior à 20 ppm (ORO e GUIRRO 2014). Para Pereira (2017), o acionamento do exaustor deve ser antecipado, isso mostra que a

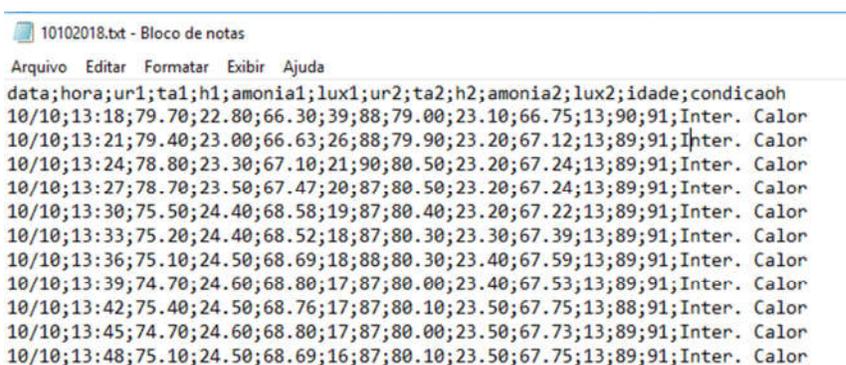
possibilidade de alterar o valor de acionamento do exaustor é benéfico, pois o produtor pode escolher o momento de acionamento.

As telas sete e oito são responsáveis pela apresentação do programa de luz, de maneira que a tela sete mostra a hora em que será ligado o programa de luz podendo ser ajustado pelos botões e a tela oito mostra por quanto tempo a luz ficará ligada também podendo ser ajustada pelos botões.

O Banco de Dados é criado diariamente, armazenando os valores a cada três minutos, em um arquivo que tem como nome o dia que foi criado, este arquivo é do tipo “.txt” (Figura 40). Os arquivos ficam salvos em um cartão de memória dentro da Central Eletrônica.



**Figura 40.** Arquivos .txt do cartão de memória da Central. Fonte: Autor



**Figura 41.** Apresentação dos valores dentro do arquivo gerado pelo Datalogger. Fonte: Autor

Os dados salvos em arquivos de textos podem ser exportados para Planilhas Eletrônicas permitindo a manipulação e visualização em forma de gráficos. Santos *et al.*

(2014) pesquisando sobre maneiras de coletar dados mostraram que utilizando sistemas automáticos de *datalogger* é descartado o erro humano deixando a coleta de dados mais consistente e também têm a possibilidade de realizar várias leituras em um curto espaço de tempo.

Para a montagem do sistema completo, os materiais foram comprados em sites de lojas brasileiras especializadas no assunto dando preferência pela que apresentasse o menor valor, tendo como referência o mês agosto de 2018. Na Tabela 2 é possível ver a média dos preços praticados pelas empresas do ramo, sem considerar o preço do frete.

**Tabela 2.** Quantidade de materiais e preço médio praticado pelas lojas especializadas, não está incluído o preço do frete.

<b>Material</b>	<b>Preço Unt.</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Preço total</b>
Arduino Mega	80,00	1	80,00
Arduino Nano	40,00	4	160,00
NRF24L01	35,00	4	140,00
Mq-135	25,00	3	75,00
DHT22	40,00	3	120,00
BH1750	15,00	3	45,00
Módulo MicroSd	20,00	1	20,00
Módulo RTC	25,00	1	25,00
Módulo Relay	40,00	1	40,00
Display LCD	40,00	1	40,00
Jumpers (Variados)	30,00	1	30,00
Caixa ABS (20x20x13 cm)	70,00	1	70,00
Caixa ABS (10x20x5 cm)	35,00	3	105,00
<b>Total</b>			<b>950,00</b>

O custo de compra dos materiais foi de R\$ 950,00 sem incluir o frete, mostrando que a utilização de sistemas de código aberto e eletrônica de baixo custo pode ser uma solução contornando o impedimento financeiro corroborando com Sandler *et al.* (2016), que gastaram US\$ 181,00 (R\$711,00 com o dólar referência a R\$3,93, que foi a cotação média para o mês de agosto) para construir uma central eletrônica para monitoramento ambiental de dados hidrológicos.

Na Tabela 3 é possível ver a média de valores praticados por empresas do ramo de automação no Brasil, entretanto com a limitação dos sensores de luminosidade e concentração de gases sem fio dada a dificuldade de encontrar.

**Tabela 3.** Quantidade de materiais e preço médio praticado pelas lojas especializadas, não está incluído o preço do frete, nem o preço do serviço de programação do CLP.

<b>Material</b>	<b>Preço Unitário R\$</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Total R\$</b>
CLP	2470,82	1	2470,82
Sensores Wi-fi	1453,67	3	4361,01
AirGate	1181,54	1	1181,54
Case	900,00	1	900,00
<b>Total</b>			<b>8913,37</b>

O custo de compra de um sistema pronto é superior a R\$8900,00 (oito mil e novecentos reais), mostrando o quanto o sistema alternativo é mais barato e mais completo, mensurando não somente temperatura e umidade relativa como também luminosidade e concentração de gases.

## **5 CONCLUSÃO**

Conclui-se que é possível desenvolver um equipamento para monitoramento e controle de variáveis ambientais utilizando sistemas embarcados alternativos de baixo custo quando comparado aos sistemas comerciais.

Por meio das análises comparativas foi possível demonstrar que o equipamento além de ser de fácil construção, possui alta precisão o que facilitou a calibração tornando-o uma ferramenta para controle e monitoramento com baixo erro amostral.

O uso de transdutores em sistemas embarcados vem de encontro às novas tecnologias proposta pela Indústria 4.0 o que também reflete na inovação tecnológica do campo.

A coleta de dados de forma contínua é uma realidade e tem vantagens quando comparado à coletas manuais, pois torna as pesquisas mais consistentes com maiores volumes amostrais e quando utilizados transdutores em sistemas embarcados o erro humano é anulado.

## **6 AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem à CAPES e CNPq pelo apoio financeiro para a concretização desta pesquisa.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABPA – Associação Brasileira de Proteína Animal. **A avicultura brasileira**. Disponível em: <<http://abpa-br.com.br/setores/avicultura/publicacoes/relatorios-anuais> >. Acesso em: 11 setembro 2018.

ABREU, V.M.N.; ABREU, P.G. Os desafios da ambiência sobre os sistemas de aves no Brasil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, p. 1-14, 2011.

ABREU, V. M. N.; ABREU, P. G. Diagnóstico bioclimático para a produção de aves no Oeste paranaense. **In:** Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 30, 2001. Anais... Foz do Iguaçu. UNIOESTE/SBEA, CD-Room. 2001.

ALI, BH; BASHIR, AK; ALHADRAMI, G. Status hormonal reprodutivo de ratos tratados com covas de data. **Food Chemistry**, v. 66, p. 437-441, 1999.

ALVES, L. S.. Ciência cidadã por meio das estações modulares: construindo as condições para um monitoramento meteorológico colaborativo. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil, 2018. Disponível em <http://hdl.handle.net/10183/177609>, último acesso em Julho de 2018.

ARAUJO, J. A. de.; MONÇÃO, A. F.; VIEIRA, R. K. R. Avaliação bioclimática para frangos de corte na época das chuvas na região sudeste do estado do Pará. **Revista Agroecossistemas**, v. 9, n. 1, p. 180 – 188, 2017.

ARBEL, A.; ZENVIRTH, D.; SIMCHEN, G. Sister chromatid-based DNA repair is mediated by RAD54, not by DMC1 or TID1. **EMBO Journal**, v. 18, p. 2648–2658, 1999.

BARBOSA, R. C.; DALÓLIO, F. S.; AMORIM, M. L.; SILVA, J. N. da; GONZAGA, D. A. Análise de viabilidade econômica de sistemas de aquecimento de instalações agropecuárias para criação de frangos de corte. **Revista Engenharia na Agricultura**. v. 25, n. 03, p. 212-222, 2017.

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

BENSON, E. R., HOUGENTOGLER, D. P., MCGURK, J., HERRMAN, E., ALPHIN, R. L. Durability of incandescent, compact fluorescent and light emitting diode lamps in poultry conditions. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 29, n. 1, p. 103-111, 2013.

BERTON, M. R.; DOURADO, R. C.; LIMA, F. B. F.; RODRIGUES, A. B. B. FERRARI', F. B.; VIEIRA, L. D. C.; SOUZA, P. A.; BORBA, H.; Growing-finishing performance and carcass yield of pigs reared in a climate-controlled and uncontrolled environment. **International Journal of Biometeorology**, v. 59, n.8, p. 955-960, 2015

BROOM, D. M. Indicators of poor welfare. **British Veterinary Journal**, London, v.142, p.524-526, 1986.

BUFFINGTON, D. E.; COLLIER, R. J.; CANTON, G. H. **Shede management systems to reduce heat stress for dairy cows**. Transactions of the ASAE, St. Joseph, n.1, 16p, 1982.

CARVALHO, R. L. L.; SANTOS, A. O. DOS; ALVES, C. R.; JÚNIOR, I. C. M.; CAVALCANTE, M. S. S. Influência da cor do telhado nos índices de conforto térmico animal. **In:** 4º Encontro em Engenharia de Edificações e Ambiental. Cuiabá – MT, 2016.

CECCHIN, D.; CAMPOS, A. T.; SCHIASSI, L.; CRUZ, V. M. F. da.; SOUSA, F. A. Índice fuzzy para o conforto térmico de suínos na fase de crescimento e terminação com base na temperatura superficial e frequência respiratória. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, vol. 31, n.4, p.334-341, 2016.

COELHO, Leandro dos Santos; ALMEIDA, Otacílio da M.; COELHO, Antonio Augusto R. Projeto e estudo de caso da implementação de um sistema de controle nebuloso. *Sba Controle & Automação*, Campinas, v. 14, n. 1, p. 20-29, Mar. 2003. Disponível em: . Acessado em 22 de julho de 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-17592003000100003>.

CRISTO, A. B.; SCHIMIDT, J. M.; PERINI, R.; MORA, M.; MARQUES, P. F. S.; *et al.* Efeito da densidade de alojamento sobre a incidência de pododermatite e características ósseas de frangos de corte criados em aviários Dark House. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**. vol.18, n.1, p.161-173. 2017.

DA CUNHA, A. R. Programação, conexão e avaliação de psicrômetro aspirado de termopar de baixo custo em micrologger para estudos agrometeorológicos. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 2, 2013.

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

DIAS, C. P.; SILVA, C. A. da; MANTECA, X. Effects of housing on pig welfare in growing and finishing phase. **Ciência Animal**, v 25, p. 76 - 92, 2015.

FAMASUL - FEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DE MATO GROSSO DO SUL. **Retrospectiva agro2017: um balanço do agronegócio de Mato Grosso do Sul em 2017**. Disponível em: <<http://www.famasul.com.br/famasul>>. Acesso em: 05 out. 2017.

FERREIRA, J. C. Ambiência e consumo de energia em galpões dark house para criação de frangos de corte: uso de diferentes tipologias e materiais de fechamento lateral. Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2017.

FERREIRA, R. S.; SANTOS, R. dos. Mapeamento temporal da área urbana do município de Ferreira Gomes-AP por imagens landsat. **In:** I congresso Nacional de Geografia Física. Campinas – SP. p. 5825-5829, 2017.

FERREIRA, A.B.H. Novo dicionário da língua portuguesa. São Paulo: Nova Fronteira, 1985.

FREITAS, A. C. B, de; QUIRINO, C. R.; BASTOS, R. Bem-estar de ovinos: Revisão. **Revista de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.11, n.1, p.18-29, 2017.

FROEHLICH, G. The legal regulations of animal welfare: sentience, productivity and the animal rights. **Vivência: Revista de Antropologia**. v. 1, n. 49, p. 33 - 48 2017.

GALLO, B. B. Dark house: manejo x desempenho frente ao Sistema tradicional. **In: X Simpósio Brasil Sul de Avicultura e I Brasil Sul Poultry Fair**. Chapecó, 2009.

GATES, R. S.; ZHANG, H.; COLLIVER, D. G.; & OVERHULTS, D. G. Regional variation in temperature index for poultry housing. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.38, n.1, p.197-205, 1995

GRAVEN, O. H.; BJØRK, J. The use of an arduino pocket lab to increase motivation in electrical engineering students for programming. **In: IEEE. Teaching, Assessment, and Learning for Engineering (TALE)**, 2016 IEEE International Conference on. [S.l.], 2016. p. 239–243.

GOEKING, W. Da máquina a vapor aos softwares de automação. **O Setor Elétrico**, São Paulo, v. 52, p.70-77, maio 2010. Disponível em: <<http://www.osestoreletrico.com.br/web/component/content/article/57-artigos-e-materias/343-xxxx.html>> . Acesso em: 06 junho. 2018.

GUSSULE, M. G. M.; BAPTISTA, F. J.; CRUZ, V. F. da. Avaliação do comportamento térmico de pavilhões de produção de frangos em Moçambique. **8º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia e V Congresso de Engenharia de Moçambique Maputo**, 2017.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Estatística da Produção Pecuária**. Comissão Especial de Planejamento, Controle e Avaliação das Estatísticas Agropecuárias. 2017. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?id=72380&view=detalhes>. Acesso em 10 janeiro 2018.

IBGE- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA: Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Agropecuária, Pesquisa Trimestral do Abate de Animais. **Pesquisa Trimestral do Abate de Animais**. 2016. Disponível em: <[https://downloads.ibge.gov.br/downloads\\_estatisticas.htm](https://downloads.ibge.gov.br/downloads_estatisticas.htm)>. Acesso em: 19/10/2017.

LACERDA, F.; LIMA-MARQUES, M. Da necessidade de princípios de Arquitetura da Informação para a Internet das Coisas. **Perspectivas em Ciência da Informação**, v. 20, n. 2, p. 158-171, 2015.

LEAL, P.M.; NÃÃS, I.A. Ambiência animal. **In: CORTEZ, L.A.B.; MAGALHÃES, P.S.G. (Org.)**. Introdução à engenharia agrícola. Campinas, SP: Unicamp, p.121-135, 1992.

LLONCH, P.; KING, E. M.; CLARKE, K. A.; DOWNES, J. M.; GREEN, L. E. A systematic review of animal based indicators of sheep welfare on farm, at market and during transport, and qualitative appraisal of their validity and feasibility for use in UK abattoirs. **The Veterinary Journal**, v 206, p. 289-297. 2015.

LOPES, M. A.; CONTINI, E. Agricultura, sustentabilidade e tecnologia. **Agroanalysis**, v. 32, n. 02, p. 27-34, 2012.

LOURENÇONI, D. Modelagem Fuzzy e efeito das mudanças climáticas nas respostas produtivas de frangos de corte criados em diferentes sistemas comerciais de produção. Tese (Doutorado). Lavras, UFLA. 2017.

MAPA- Ministério da agricultura pecuária e abastecimento. 2014. Disponível: <<http://www.agricultura.gov.br/animal/bem-estar-animal/conceitos-e-metodos>>. Acesso em: 20/09/2017.

MASSRUHÁ, S. M. F. S. Tecnologias da informação e da comunicação - O papel na agricultura. **Agroanalysis**, v. 35, n. 9, p. 29-31, 2015

MOREIRA, L. Medição de temperatura usando-se termopar. **Cerâmica Industrial**, v. 7, n. 5, p. 51-53, 2002.

MOTA, A. D. **Apostila Arduino Básico**: Vol. 1. Serra – ES, 2015, 40p.

OGATA, K. Engenharia de controle moderno, 3a ed. Rio de Janeiro: Pearson Prentice Hall, 2005.

OLIVEIRA, L. P. de; GAI, V. F. Desempenho de frango de corte em aviários convencional e aviários dark house. **Revista Cultivando o Saber**, v 9 - n°, p. 93 – 101, 2016.

OLIVEIRA, M. A. A.; AMARAL, J. F.; Amaral, J. L. M.; Utilização de Algoritmos Genéricos para Interpolação de Valores de Medição de termoresistências (RTD), 2009.

OLIVEIRA JÚNIOR, A. J. de. Dispositivo móvel para análise de conforto térmico e ambiência. 2016.

ORO, C., GUIRRO, E. D. P. Influence of ammonia from the litter on broiler chicken welfare. **Veterinaria em foco**, v. 12, n. 1, p. 49-63, 2014.

PADILHA, J. B.; GROFF, P. M.; TAKAHASHI, S. E.; EINSFELD, S.; ROSA, E. O.; ANDRADE, M. de.; BAGATINI, A.; GERHARDS, S. J. Importance of the thermal environment in pig production in the nursery phase. **Revista electrónica de Veterinaria**, v 18, n 02. 2017.

PEREIRA, W. F. Mensuração de parâmetros ambientais em galpão avícola utilizando um equipamento desenvolvido com o conceito de "internet das coisas". 2017.

PEREIRA, D. F. Ambiência em frangos de corte. **In**: CONFERÊNCIA APINCO 2011 DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AVÍCOLAS, 2011, Santos. **Anais**. Campinas-SP: Fundação APINCO de Ciência de Tecnologia Avícolas-FACTA, 2011, p. 113-122

PRIYANKA, E.B.; MAHESWARI, C.; THANGAVEL, S. Online Monitoring and Control of Flow rate in Oil Pipelines Transportation System by using PLC based Fuzzy-PID Controller. **Flow Measurement and Instrumentation** Volume 62, August 2018, Pages 144-151. DOI <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2018.02.010>

PROCEL – Programa Nacional de conservação de energia elétrica. Dicas de economia de energia para um mundo melhor. Ministério de Minas e Energia, 2013. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp>>. Acesso em: 02 set. 2016.

QUEIROZ, M. L. V.; FILHO, A. D. B.; SALES, F. A. L.; LIMA, L. R. de; DUARTE L. M.; Variabilidade espacial do ambiente em galpões de frango de corte com sistema de nebulização. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 4, p. 586-595, 2017.

ROSA, C.O.; GARCIA, R.G.; COSTA, J.S.; NÄÄS, I.A.; LIMA, N.D.S. Economic analysis of the implementation of an LED lighting system in a dark house: a case study. **Custos e Agronegócio**. v. 13, Special Edition, p. 2-19, 2017.

ROVARIS, E.; CORRÊA, G. S. S.; CORRÊA, A. B.; JUNIOR, J. G. C.; LUNA, U. V. de; ASSIS, S. D. de. Desempenho de frangos de corte criados em aviários dark house versus convencional. **PUBVET**, Londrina, v. 8, n. 18, Ed. 267, Art. 1778, 2014.

SADLER, J. M.; AMES, D. P.; KHATTAR, R. A recipe for standards-based data sharing using open source software and low-cost electronics. **Journal of Hydroinformatics**, v. 18, n. 2, p. 185-197, 2016.

SANTOS, R. C.; BATTILANI, M. ; GARCIA, R. G. ; GEISENHOF, L. ; JORDAN, R. A. . COMPARAÇÃO ENTRE SISTEMAS DE AVALIAÇÃO AMBIENTAL EM GALPÕES DE GALINHAS POEDEIRAS NA REGIÃO DE DOURADOS MS.. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas (UNICAMP)**, v. 8, p. 183-190, 2014.

SANTOS FILHO, J. I.; TALAMINI, D. J. D.; SCHEUERMANN, G. N.; BERTOL, T. M. Potencial do Matopiba na produção de aves e suínos. **Revista Política Agrícola**, n 2, 2017.

SANTOS, R. C.; SILVA, S. I.; SILVA, N. C.; BATTILANI, M.; ÁVALO. H.; MARTINS; E. A. S.; DE PAULA, M. O. Análise de risco ao estresse climático na produção de frangos de corte da região do Paraná. **In: Simpósio Nacional de Construções Rurais e Ambiente (V SIMCRA/ 2016)**. Viçosa – MG, 2016.

SANTOS, D. C.; GONÇALVES, O. M. Contribuições para a Estruturação de Modelo Aberto para o Dimensionamento Otimizado dos Sistemas Prediais de Esgotos Sanitários. PCC-EPUSP. São Paulo, 1998.

Saravana Electronics, [alselectro.com](http://www.alselectro.com) s.d. <http://www.alselectro.com/ethernet-shield.html> (acesso em 27/06/2018).

SELEME, R; SELEME, R. B. Automação da Produção: uma abordagem gerencial [livro eletrônico]. Curitiba: Intersaberes, 2013. 211 p.

SHIMOKOMAKI M.; IDA, E. I.; SOARES, A. L.; OBA, A.; KATOMAYKA, T. *et al.* Animal Welfare and Meat Quality: Methodologies to Reduce Pre-slaughter Stress in Broiler Chicken. **Global Food Security and Wellness**. v.1, p 301-313, 2017.

SILVA, C. A. DA; AGOSTINI, P. S.; CALLEGARI; M. A.; SANTOS, R. K. S. DOS; NOVAIS. A. K., PIEROZAN. C. R.; JUNIOR, M. P.; ALVES, J. B.; GASÓ J. G. Fatores que

afetam o desempenho de suínos nas fases de crescimento e terminação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.51, n.10, p.1780-1788, 2016.

SILVA, R. M. da; GANECO, A. G. Avaliação do galpão convencional e dark house na produção de frango de corte. **VIII Sintagro – Simpósio Nacional de Tecnologia em Agronegócio**. Jales – SP, 2016.

SILVA, E. G. da; SANTOS, A. C. dos; FERREIRA, C. L. S.; SOUSA, J. P. L. de; ROCHA, J. M. L. da; SILVEIRA JÚNIOR, O. Spatial variability of the environmental characteristics and weight of broilers in shed negative ventilation. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 14, n. 1, p. 132-141, 2013.

STAUB, L.; DE MOARES, M. D. G.; SANTOS, M. G.; KOMIYAMA, C. M.; GONÇALVES, N. S.; JUNIOR, R. B. F.; TON, A. P. S.; ROQUE, F. A. Ambiente interna e externa em galpão de frangos de corte nas diferentes épocas do ano e fases de criação. **Revista Nativa**, v. 4, n. 3, p. 128 - 133, 2016.

TORRES, J. D. *et al.* Aquisição de dados meteorológicos através da plataforma Arduino: construção de baixo custo e análise de dados. **Scientia Plena**, v. 11, n. 2, 2015.

THOM, H. C. S. A note on the gamma distribution. **Monthly Weather Review**, v.86, n.4, p.117-122, 1958.

USDA - United States Department of Agriculture. **Livestock and Poultry: World Markets and Trade**. 2017. Disponível em: [https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/livestock\\_poultry.pdf](https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/livestock_poultry.pdf). Acesso em: 15 de agosto de 2018.

VIGODERIS, R. B.; CORDEIRO, D. DE A.; SOUZA, W. M.; DA SILVA, J. M.; GUISELIN, C. Uso da simulação computacional como ferramenta de tomada de decisão na implantação de aviários climatizados no estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.09, n.07. p. 2405-2415, 2016.

VIGODERIS, R. B.; TINÔCO, I. F. F.; PANDORFI, H.; CORDEIRO, M. B.; JÚNIOR, J. P. S.; GUIMARÃES, M. C. C. (2014). Efeito de sistemas de aquecimento na qualidade de serrapilheira em frangos de corte em condições de inverno. **DYNA**, v. 81, n. 185, p. 36-40, 2014.

Vocabulário Internacional de Metrologia: Conceitos fundamentais e gerais e termos associados (VIM 2012). Duque de Caxias, RJ : INMETRO, 2012.

WEBSTER, J. Animal welfare: Freedoms, dominions and “a life worth living”. **Animals**, v. 6, n. 6, p. 35, 2016..