



CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIAS E SAÚDE DO CAMPUS ARARANGUÁ DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS ARARANGUÁ
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

Paulo Henrique Santos Fuchshuber

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE INCUBADORA PARA OVOS DE
GALINHA**

Araranguá - SC
2022

Paulo Henrique Santos Fuchshuber

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE INCUBADORA PARA OVOS DE
GALINHA**

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia de Computação do Centro de Ciências, Tecnologias e Saúde do Campus Araranguá da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Computação.

Orientador: Prof. Fábio Rodrigues De La Rocha, Dr.
Coorientador: Laís da Luz Benedet, Eng. Agronomia

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.**

Santos Fuchshuber, Paulo Henrique
DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE INCUBADORA PARA OVOS
DE GALINHA / Paulo Henrique Santos Fuchshuber ;
orientador, Fábio Rodrigues De La Rocha, coorientador, Laís
da Luz Benedet, 2022.
52 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Araranguá,
Graduação em Engenharia de Computação, Araranguá, 2022.

Inclui referências.

1. Engenharia de Computação. 2. Incubação. 3. Chocadeira.
4. Controle de ambiente. I. De La Rocha, Fábio Rodrigues.
II. da Luz Benedet, Laís. III. Universidade Federal de
Santa Catarina. Graduação em Engenharia de Computação. IV.
Título.

Paulo Henrique Santos Fuchshuber

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE INCUBADORA PARA OVOS DE
GALINHA**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia da Computação, e aprovado em sua fase final pelo Curso de Engenharia de Computação.

Araranguá, 25 de fevereiro de 2022

Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Fábio Rodrigues De La Rocha, Dr.

Orientador

Universidade Federal de Santa Catarina

Eng. Laís da Luz Benedet

Co-Orientadora

Avícola Catarinense

Prof. Eugênio Simão, Dr.

Avaliador

Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Marcelo Daniel Berejuck, PhD

Avaliador

Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Jim Lau, Dr

Avaliador Suplente

Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado aos que ajudam a combater a
fome no mundo.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a Granja Faria, que oportunizou a visita técnica à Avícola Catarinense, a esta avícola, que abriu suas portas, e a seus colaboradores, Laís e Ademar, que através de seus conhecimentos me auxiliaram no desenvolvimento desse trabalho. Gostaria também de agradecer aos meus familiares e amigos, que me ajudaram direta e indiretamente e nunca duvidaram da minha capacidade.

*“O Homem é a única criatura que consome sem produzir.
Ele não dá leite, não põe ovos,
é fraco demais para puxar o arado,
não é rápido o suficiente para pegar coelhos.
No entanto, é o senhor de todos os animais.”*
(George Orwell, 1945)

RESUMO

O objetivo deste trabalho é explorar o papel da computação e seu uso em aplicações do setor produtivo do estado de Santa Catarina. Como estudo de caso foi selecionado o problema da avicultura intensiva que consiste em melhorar a taxa de eclosão de ovos ao monitorar e influenciar o ambiente de criação. Desta forma, foi proposto um sistema eletrônico para monitorar e controlar remotamente o ambiente onde ocorre a chocagem de ovos. No sistema proposto é possível criar um ambiente com condições estáveis e adequadas para o desenvolvimento do embrião de uma determinada espécie de ave. Com este sistema, o trabalho do técnico responsável pelo manejo é facilitado pois permite que este seja capaz de realizar o seu trabalho afastado do local de criação e consequentemente controlar diversos locais de criação à distância.

O protótipo utiliza a técnica de controle *PID* para controlar a temperatura da incubadora e armazena os dados coletados num banco de dados ao longo do tempo. Através de uma interface gráfica com o usuário, os mesmos dados sensoriais são apresentados graficamente (temperatura, umidade e nível de gases) ao longo do tempo para rápida inspeção e identificação de instabilidades ou condições de ambiente adversas. Na implementação foi utilizado software livre e hardware de baixo custo para construir um protótipo funcional como prova de conceito visando o mercado de pequenos criadores. Com este protótipo foram realizados experimentos empíricos para avaliar o funcionamento do dispositivo e viabilidade da solução proposta.

Palavras-chave: Chocadeira. Incubação. Controle de ambiente.

ABSTRACT

This paper aims to explore the role of computing and its use in applications in the productive sector in the state of Santa Catarina. As a case study, it was selected the intensive aviculture problem that consists in improving the hatching rate of eggs by monitoring and influencing the rearing environment. Therefore, an electronic system was presented to remotely monitor and control the environment where the egg hatching occurs. In the presented system, it is possible to create an environment with stable and proper conditions for the embryo development of a certain bird species. By using the system, the work of the technician responsible for the management is eased because it allows him to be able to perform his work distanced from the breeding place and consequently control several breeding places at a distance.

The prototype uses PID control to regulate the incubator's temperature and stores the data collected in a database over time. Through a graphical user interface, the same sensory data is presented graphically (temperature, humidity, and gas level) over time for quick inspection and identification of instabilities or adverse ambiance conditions. For the implementation, free software and low-cost hardware were used to build a working prototype, as a proof of concept aiming at the small breeders market. Under this prototype empirical experiments were conducted to rate the device operation and viability of the proposed solution.

Keywords: Brooder. Incubator. Environment control.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ranking mundial de produção de frangos de corte em milhares de toneladas no ano de 2021.....	19
Figura 2 – Ranking mundial de exportação de frangos de corte em milhares de toneladas no ano de 2021.....	20
Figura 3 – Ranking nacional de produção de frangos de corte em milhares de toneladas no ano de 2019.....	20
Figura 4 – Ranking nacional de exportação de frangos de corte em milhares de toneladas no ano de 2019.....	21
Figura 5 – Câmara de incubação da Avícola Catarinense.	23
Figura 6 – Primeiro modelo de painel de controle de uma das câmaras de incubação da Avícola Catarinense.	24
Figura 7 – Segundo modelo de painel de controle de uma das câmaras de incubação da Avícola Catarinense.	25
Figura 8 – Sistema de aquecimento e de ventilação de uma câmara de incubação (Avícola Catarinense).	26
Figura 9 – Resistores de uma câmara de incubação (Avícola Catarinense). .	26
Figura 10 – Bandeja de cem unidades de pintinhos de um dia (Avícola Catari-nense). ..	27
Figura 11 – <i>Raspberry Pi 3 Modelo B.</i>	27
Figura 12 – Pinagem <i>GPIO.</i>	28
Figura 13 – <i>Raspberry Pi Camera.</i>	28
Figura 14 – Imagem interna da incubadora obtida com a <i>RaspiCam.</i>	29
Figura 15 – Características sensitivas do sensor MQ-135.	29
Figura 16 – Características sensitivas do sensor <i>MQ-4</i>	30
Figura 17 – Características sensitivas do sensor <i>MQ-6</i>	30
Figura 18 – Sensor LDR	31
Figura 19 – Cama de Aquecimento <i>Mk2b.</i>	33
Figura 20 – Motor de Passo 28BYJ-48.	33
Figura 21 – <i>Cooler fan F7-MB10BK Storm 8cm C3Tech.</i>	34
Figura 22 – Grade de rolagem de ovos.	35
Figura 23 – Aquecedor submersível para aquário.	36
Figura 24 – Curva de temperatura em malha aberta.	37
Figura 25 – Gráfico da derivada da temperatura em malha aberta com linha de tendência.	37
Figura 26 – Curva de temperatura em malha aberta e reta tangente ao ponto de inflexão.	38
Figura 27 – Trecho de código utilizado para o controle PI.	39

Figura 28 – Gráfico de temperatura após implementar o controle PI.	39
Figura 29 – Projeto da incubadora de ovos quase finalizado.	41
Figura 30 – Gráfico de diminuição de temperatura externa - início.	43
Figura 31 – Gráfico de diminuição de temperatura externa - ponto mais crítico no dia.	43
Figura 32 – Gráfico de diminuição de temperatura externa - fim.	44
Figura 33 – Gráfico com o aquecedor submerso desligado.	45
Figura 34 – Gráfico com o aquecedor submerso ligado.	45
Figura 35 – Gráfico de umidade gerada por um umidificador piezoeletrico.	46
Figura 36 – Gráfico de funcionamento em um período de 6 dias.	47

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	PROBLEMÁTICA	15
3	OBJETIVOS	16
3.1	OBJETIVO GERAL	16
3.1.1	Objetivos Específicos	16
3.1.1.1	Projetar protótipo	16
3.1.1.2	Desenvolver protótipo	16
3.1.1.3	Realizar bateria de testes	16
3.1.1.4	Analisar os dados obtidos	16
3.1.1.5	Desenvolver aplicativo de acesso remoto	16
3.1.1.6	Testar comunicação e usabilidade	16
4	HIPÓTESES	17
5	JUSTIFICATIVA	19
5.1	CENÁRIO MUNDIAL	19
5.2	CENÁRIO NACIONAL	19
6	DESENVOLVIMENTO	22
6.1	VISITA TÉCNICA	22
6.2	MATERIAIS UTILIZADOS	22
6.2.1	Raspberry Pi	22
6.2.1.1	GPIO	24
6.2.1.2	RaspiCam	24
6.2.2	Sensores de gás	25
6.2.2.1	MQ-135	25
6.2.2.2	MQ-4 e MQ-6	28
6.2.2.3	MH-Z19B	29
6.2.3	Sensor de luminosidade	30
6.2.3.1	LDR	30
6.2.4	Sensor de umidade e temperatura	31
6.2.4.1	DHT22	31
6.2.4.2	DS18B20	32
6.2.4.3	RTD	32
6.2.5	Atuadores	32
6.2.5.1	Cama de aquecimento	32
6.2.5.2	Motor de Passo	32
6.2.5.3	Coolers	33
6.2.5.4	Fonte	34
6.2.6	Circuitos Integrados	34

6.2.6.1	Mosfet	34
6.2.7	Outros materiais	34
6.2.7.1	Grade de rolagem	34
6.2.7.2	Recipiente com água	35
6.2.7.3	Aquecedor submersível	35
6.3	MODELAGEM	36
6.3.1	Método de Ziegler Nichols	36
6.4	PROGRAMAÇÃO	40
6.4.1	Linguagem Python	40
6.4.1.1	Flask	40
6.4.2	Armazenamento de Dados	40
6.4.2.1	Amazon DynamoDB	40
6.4.2.2	Modelo do Banco Não Relacional	40
6.4.3	Execução do Projeto	41
6.4.4	Código-fonte	41
7	RESULTADOS	42
8	CONCLUSÃO	48
	REFERÊNCIAS	50

1 INTRODUÇÃO

O processo de incubação artificial de ovos de galinha é um método antigo, e que há relatos de que no ano IV a.C. os egípcios já eram capazes de incubar cerca de 10 a 15 mil ovos por vez em estruturas de tijolos que se mantinham aquecidas com a queima de fezes de camelo, e que depois os chineses aprimoraram a técnica egípcia por volta de 246 d.C. a fim de alimentar a grande quantidade de trabalhadores que construíram a muralha da China (PEREIRA, 2009).

"Na cadeia produtiva avícola, o processo de incubação artificial é visto como elo de transformação do ovo fértil em pinto de um dia no período de 21 dias, representando aproximadamente 33% a 50% da vida do frango de corte, sendo essencial para expressar o potencial das linhagens e melhorar cada vez mais os resultados zootécnicos (MARQUES *et al.*, 2017)."

"A incubação artificial representa um dos avanços mais expressivos e importantes do desenvolvimento da avicultura mundial. A incubação artificial se destaca por proporcionar que uma máquina substitua a galinha no período de desenvolvimento do embrião dentro do ovo, criando um microclima favorável e estável de temperatura, umidade, ventilação e viragem periódica, resultando em um novo indivíduo. É inegável reconhecer que sem a incubação artificial não seria possível a produção de carne de frango e ovos na proporção que a demanda atual exige (MARQUES *et al.*, 2017)."

Os sensores (digitais e analógicos) são componentes capazes de analisar uma determinada condição do ambiente e estes estão ficando cada vez mais sofisticados e acessíveis. Suas aplicabilidades são diversas como por exemplo, detectar alterações de temperatura, umidade, perceber algum tipo de movimentação em uma determinada área, dentre outras (PATSKO, 2006).

Segundo Boleli *et al.* (2016), atualmente, incubadoras capazes de incubar diferentes números de ovos de diferentes espécies de aves estão disponíveis comercialmente, com mais ou menos sofisticação. Porém, apesar dos avanços tecnológicos e das modernas máquinas de incubação, o sucesso da incubação ainda depende da qualidade do trabalho dentro e fora dos incubatórios, o que exige treinamento da equipe técnica envolvida nesses processos.

De acordo com Figueiredo *et al.* (2003), existe um grande número de raças e cruzamentos de galinhas que são utilizados para diversos propósitos, tais como produção de ovos, produção de carne, concursos de padrão racial, produção agroecológica, criações ornamentais, exposição, passa-tempo etc.

2 PROBLEMÁTICA

Durante a chocagem de ovos, diversos fatores influenciam a eclodibilidade e qualidade das aves, tais como histórico do embrião, linha genética dos criadores, peso do ovo e fatores relacionados ao ambiente de incubação dos ovos, temperatura, umidade, níveis de concentração de gases e altitude (ONAGBESAN *et al.*, 2007).

"Apesar do avanço ocorrido no processo de incubação, há procedimentos adotados no incubatório que podem reduzir o número de pintos nascidos provenientes dos ovos férteis incubados, essa relação se chama eclodibilidade e é de suma importância no incubatório, pois uma alteração em seus valores está intimamente associada à qualidade dele (PEREIRA, 2009)."

O intuito do projeto é utilizar sensores e controladores de preços acessíveis disponíveis no mercado para proporcionar estabilidade térmica a um ambiente controlado e indicar também fatores que podem comprometer o índice de eclodibilidade, analisando até que ponto esses sensores são capazes de auxiliar no processo de incubação.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um protótipo para incubação remota de ovos de galinha que controle as condições do ambiente, tais como temperatura e umidade, e mostre ao usuário as condições climáticas às quais os ovos foram expostos.

3.1.1 Objetivos Específicos

3.1.1.1 Projetar protótipo

Levantar os materiais necessários, controladores, sensores de gases, iluminação, temperatura e umidade. Servo motor para rolagem e uma fonte de calor para aquecer os ovos, ventoinha para realizar a ventilação forçada e um agitador ou aquecedor de água para aumentar a umidade do ambiente caso necessário.

3.1.1.2 Desenvolver protótipo

Criar um espaço no qual seja possível alcançar as condições ambientais desejadas, com todos os componentes (sensores e atuadores) funcionando correta e adequadamente.

3.1.1.3 Realizar bateria de testes

Realizar uma bateria de testes para verificar se foi possível estabilizar as variáveis de condições de ambiente, tais como temperatura e umidade.

3.1.1.4 Analisar os dados obtidos

Verificar se os dados obtidos na bateria de testes são condizentes com os valores esperados. Se não for possível alcançar os valores estáveis de temperatura e umidade desejados, refazer o projeto com as alterações necessárias.

3.1.1.5 Desenvolver aplicativo de acesso remoto

Projetar e desenvolver um banco de dados para armazenar as informações obtidas através dos sensores e criar uma interface para visualizar os dados.

3.1.1.6 Testar comunicação e usabilidade

Testar os software para garantir a estabilidade e confiabilidade da comunicação entre o aplicativo e o protótipo, certificar a coerência dos dados e garantir a exibição de dados relevantes.

4 HIPOTESES

A realização do projeto não envolve de fato a incubação de ovos fecundados, logo, para simular o ambiente de incubação é necessário utilizar artigos de estudos realizados anteriormente para estabelecer valores de condições ideais do ambiente.

A autora Silva (2016) diz que a temperatura do ar, a ventilação, a umidade e a viragem dos ovos são os parâmetros físicos controlados dentro das incubadoras, dentre os quais, a temperatura é considerada parâmetro fundamental para o desenvolvimento embrionário. Entretanto, a perfeita harmonia entre estes parâmetros físicos se faz necessária, uma vez que a temperatura afeta todos os outros parâmetros, assim como é afetada por eles.

Segundo Cobb-Vantress (2008), a temperatura da incubadora deve permanecer entre 37,5 °C e 37,8 °C. Conforme Martinazzo e Orlando (2016) o sensor de temperatura DS18B20 tem uma acurácia de $\pm 0,5$ °C ao longo da faixa de -10 °C a + 85 °C, que não é suficiente para alcançar a acurácia que a incubadora demanda, porém esse sensor foi utilizado para fins demonstrativos e um futuro trabalho pode ser elaborado com sensores que satisfaçam as condições necessárias como por exemplo o sensor *RTD*.

Para realizar a medição de umidade pode-se utilizar um sensor de umidade *DHT22*; para efetuar a rolagem dos ovos pode-se utilizar um servo motor acoplado a uma esteira sobre a bandeja, onde se encontram os ovos dentro da incubadora; e uma ventoinha pode ter a rotação regulada através de uma medição externa com um anemômetro para realizar a troca gasosa.

Outro fator que pode influenciar negativamente a incubação é o excesso de gases indesejados. É necessário estabelecer um conjunto de gases prejudiciais para estabelecer o sensor adequado para identificá-los de acordo com a limitação de cada sensor estabelecida pelo fabricante.

Entre o vigésimo e o vigésimo primeiro dia de incubação os ovos começam a eclodir, o embrião troca da respiração embrionária para a respiração pulmonar, fase essa a qual não pode haver excesso de gás carbônico (BIELSCH; SOUZA, 2014).

Segundo Steinmetz e Kunz (s.d.) os resíduos de ovos inférteis, defeituosos, ou não eclodidos podem produzir gás metano. É de interesse que esses resíduos sejam removidos pois o gás metano oferece riscos sanitários.

De acordo com Silva-de-Souza *et al.* (2014) o sensor MQ-4 é capaz de detectar concentrações de gás metano entre 300ppm e 10000ppm, e pode operar em temperaturas entre -10°C a 50°C, faixa de temperatura essa que inclui a faixa de temperatura da incubadora. O autor Bielsch e Souza (2014) afirma que um sensor da mesma família (MQ-135) é capaz de detectar o nível de CO₂ no ambiente na faixa de 10ppm a 1000ppm, e opera entre -10°C a 70°C, que também inclui a faixa de temperatura da

incubadora, e consome menos de 150mA a 5V.

5 JUSTIFICATIVA

Segundo Guia de Manejo de Incubação de Cobb-Vantress (2008) um motivo plausível para a automatização do incubatório é a redução do cansaço dos operadores e a criação de um melhor ambiente de trabalho, que implica em um melhoramento na produtividade. Muitos equipamentos de automatização do incubatório são de alta precisão e tão caros que somente um incubatório de grande porte justificaria seu uso.

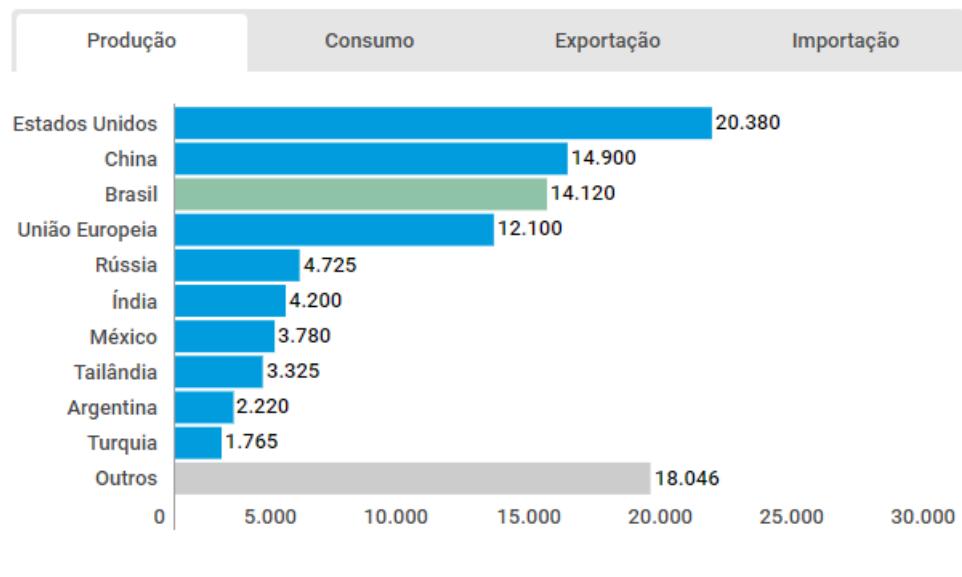
5.1 CENÁRIO MUNDIAL

Segundo o site da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), o Brasil foi o terceiro maior produtor de frango de corte no mundo (Figura 1), e também maior exportador de frango de corte no mundo no ano de 2021 (Figura 2) (EMBRAPA, s.d.).

5.2 CENÁRIO NACIONAL

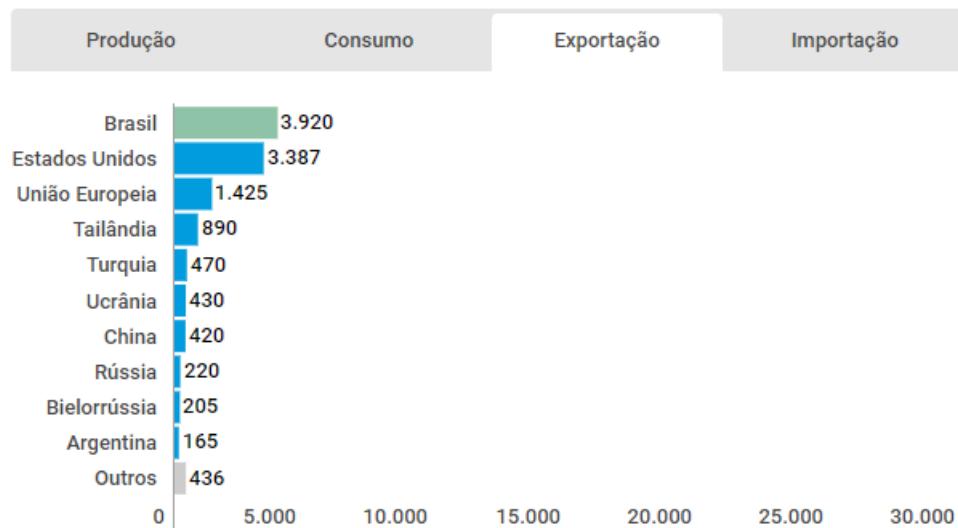
De acordo com o site da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), o estado de Santa Catarina foi o segundo maior produtor (Figura 3) e exportador (Figura 4) de carne de frango no ano de 2019 (EMBRAPA, s.d.).

Figura 1 – Ranking mundial de produção de frangos de corte em milhares de toneladas no ano de 2021.



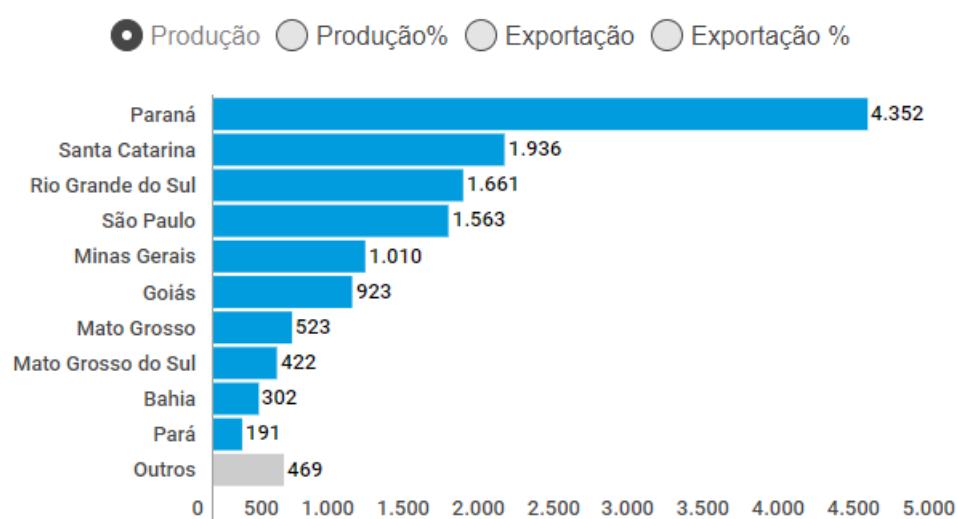
Fonte: EMBRAPA (s.d.)

Figura 2 – Ranking mundial de exportação de frangos de corte em milhares de toneladas no ano de 2021.



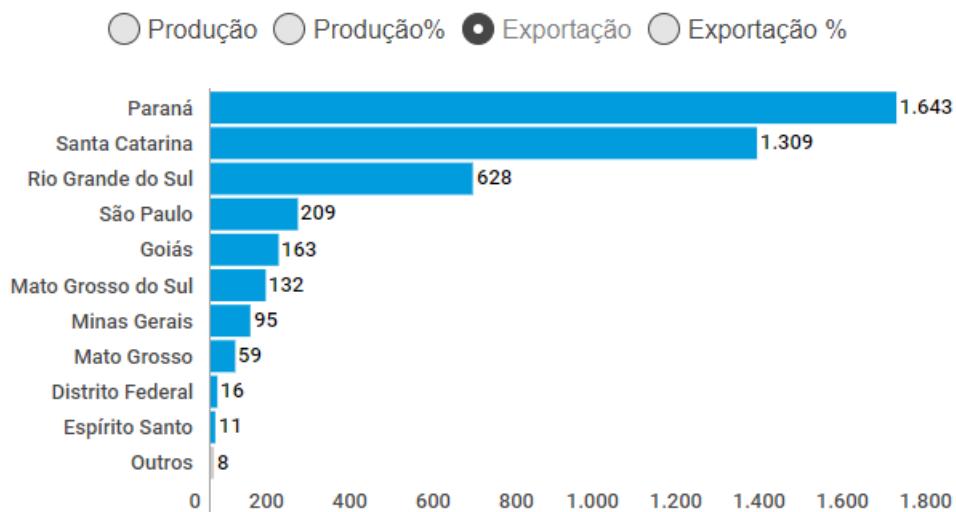
Fonte: EMBRAPA (s.d.)

Figura 3 – Ranking nacional de produção de frangos de corte em milhares de toneladas no ano de 2019.



Fonte: EMBRAPA (s.d.)

Figura 4 – Ranking nacional de exportação de frangos de corte em milhares de toneladas no ano de 2019.



Fonte: EMBRAPA (s.d.)

6 DESENVOLVIMENTO

6.1 VISITA TÉCNICA

Após contato telefônico com a Granja Faria, uma grande empresa produtora de ovos férteis, foi agendada uma visita técnica à Avícola Catarinense, empresa integrante do grupo Granja Faria adquirida em 2013, e que atua há mais de 30 anos no mercado avícola com produção de ovos férteis e pintinhos.

Para entrar no incubatório foi necessário passar por procedimentos de biossegurança (banho, troca de roupa e pertences fumigados), e a visita foi realizada das "áreas limpas" em direção às "áreas sujas", conforme Sesti (2000).

A visita técnica foi essencial para sanar algumas dúvidas e facilitar o desenvolvimento do projeto. Após passar por todos os processos de higienização necessários foi possível de fato entrar no incubatório, de onde foram extraídas as figuras 5 a 10.

A Figura 5 mostra de que forma os ovos são expostos dentro da incubadora e como essa estrutura é construída para realizar a rolagem dos ovos. A figura que mostra como os ovos foram expostos com o sistema de rolagem no protótipo desenvolvido pelo autor é a Figura 14.

O incubatório possui dois modelos diferentes de controladores. O primeiro (Figura 6) é um modelo mais antigo e que demanda registro de dados manuais, já o segundo (Figura 7) é um modelo mais novo que é capaz de fazer o registro automático de dados.

As Figuras 8 e 9 mostram a estrutura interna de uma incubadora responsável por ventilar e aquecer o sistema, e os instrumentos utilizados para realização do projeto que desempenham o mesmo papel, porém em menor proporção são os coolers (Seção 6.2.5.3) e a cama de aquecimento (Seção 6.2.5.1).

Por fim, após os pintinhos serem vacinados duas vezes e passar pelo processo de sexagem, eles são agrupados em caixas com cem unidades (Figura 10) e permanecem em uma sala com controle de temperatura e umidade aguardando para serem levados para as granjas.

6.2 MATERIAIS UTILIZADOS

Neste capítulo estão expostos alguns dos materiais tais como sensores e microcontroladores que foram utilizados no desenvolvimento do projeto para monitorar e controlar o ambiente de incubação e suas respectivas especificações.

6.2.1 Raspberry Pi

O *Raspberry Pi* é um computador de baixo custo do tamanho de um cartão de crédito que se conecta a um monitor de computador ou TV e usa um teclado e

Figura 5 – Câmara de incubação da Avícola Catarinense.



Fonte: Autor.

mouse padrão. É um pequeno dispositivo que permite que pessoas de todas as idades explorem a computação e aprendam a programar em linguagens como *Scratch* e *Python* (RASPBERRY PI FOUNDATION, s.d.[d]).

O modelo utilizado foi o *Raspberry Pi 3* modelo B, ele possui as seguintes especificações:

- Processador *Quad Core 1.2GHz Broadcom BCM2837 64bit*
- 1GB RAM
- BCM43438 wireless LAN and Bluetooth Low Energy (BLE) on board*
- 100 Base Ethernet*
- 40 pinos *GPIO*
- 4 portas *USB 2.0*
- 4 Pole stereo output and composite video port*
- Porta HDMI*
- Porta CSI para Raspberry Pi Camera*
- Porta DSI para Raspberry Pi touchscreen display*
- Porta Micro SD para carregar o SO e armazenar dados*

Figura 6 – Primeiro modelo de painel de controle de uma das câmaras de incubação da Avícola Catarinense.



Fonte: Avícola Catarinense

-Fonte de alimentação Micro USB de até 2.5A
(RASPBERRY PI FOUNDATION, s.d.[a])

6.2.1.1 GPIO

Um recurso poderoso que o *Raspberry Pi* oferece são os pinos GPIO(*General Purpose Input Output*) que podem ser programados para serem utilizados como entrada ou saída do sistema para diversos propósitos. Vide Figura 12 (RASPBERRY PI FOUNDATION, s.d.[c]).

6.2.1.2 RaspiCam

Para melhorar a experiência do usuário e possibilitar a visualização dos ovos durante o processo de incubação foi utilizada uma câmera que é fornecida pelo mesmo fabricante do microcontrolador, o modelo de câmera utilizado foi o modelo *Raspberry Pi Camera Rev 1.3*, porém existem modelos melhores no mercado capazes de fornecer imagens em alta resolução como o da Figura 13.

Figura 7 – Segundo modelo de painel de controle de uma das câmaras de incubação da Avícola Catarinense.



Fonte: Autor.

Por mais que o modelo de câmera utilizado fosse um dos mais antigos foi possível capturar imagens nítidas, como mostra a Figura 14.

6.2.2 Sensores de gás

Segundo Cobb-Vantress (2008) as incubadoras devem ser calibradas de tal forma que os níveis de dióxido de carbono no interior das máquinas não excedam 0,4%. A maioria das máquinas com prateleiras fixas funcionam com um nível de 0,2-0,3% e as com carrinhos, de 0,3-0,4%.

O preço de detectores de gás carbônico pode variar entre 70 reais e 4000 reais, sendo que os sensores mais baratos apenas fazem a detecção e não possuem uma boa leitura de concentração (PIRES, 2018).

6.2.2.1 MQ-135

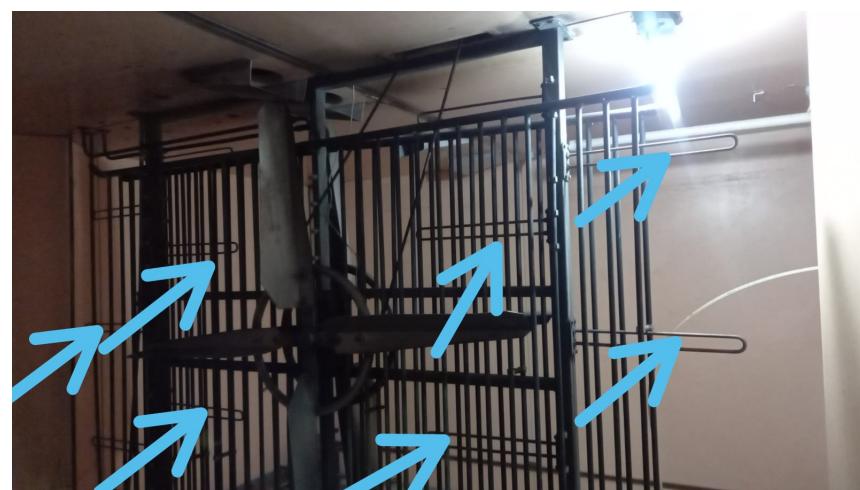
Cada sensor da família *MQ-x* tem maior sensibilidade a tipos de gases diferentes. O sensor *MQ-135* tem sensibilidade significativa para medir amônia, benzeno, gás

Figura 8 – Sistema de aquecimento e de ventilação de uma câmara de incubação (Avícola Catarinense).



Fonte: Avícola Catarinense.

Figura 9 – Resistores de uma câmara de incubação (Avícola Catarinense).



Fonte: Avícola Catarinense.

Figura 10 – Bandeja de cem unidades de pintinhos de um dia (Avícola Catarinense).



Fonte: Autor.

Figura 11 – *Raspberry Pi 3 Modelo B*.

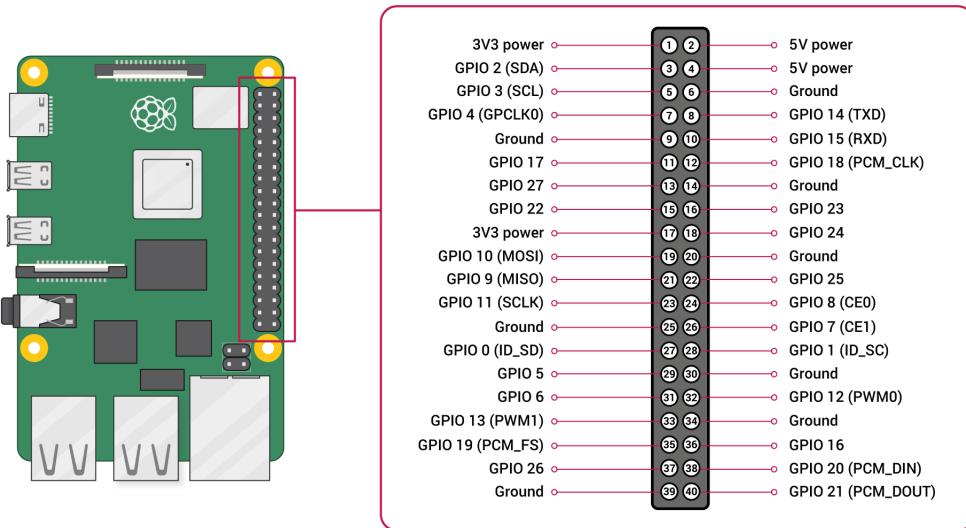


Fonte: Site do *Raspberry Pi* Raspberry Pi Foundation (s.d.[a])

carbônico, dióxido de carbono, propano, GLP e tolueno, conforme mostra a Figura 15 (PIRES, 2018).

Esse sensor se adéqua ao projeto pois como podemos ver na Figura 15 possui sensibilidade significativa para dióxido de carbono, o datasheet Olimex (2012) é capaz de detectar o nível de CO₂ no ambiente na faixa de 10ppm a 1000ppm, ou seja, de 0,001% até 0,1%, não é capaz de identificar níveis de CO₂ acima de 0,1% mas pode ser utilizado em determinado período da incubação onde a produção de CO₂ é mais baixa ou até mesmo para assegurar a qualidade do ar que está sendo introduzida na incubadora. Segundo Bielsch e Souza (2014), excesso de gás carbônico pode ser um

Figura 12 – Pinagem GPIO.



Fonte: Documentação do *Raspberry Pi* Raspberry Pi Foundation (s.d.[c])

Figura 13 – *Raspberry Pi Camera*.

Fonte: Documentação do *Raspberry Pi* Raspberry Pi Foundation (s.d.[b])

indicativo de necessidade de troca de ar.

6.2.2.2 MQ-4 e MQ-6

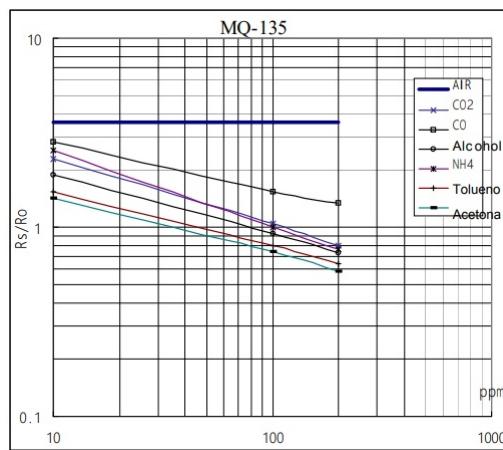
O sensor *MQ-4* possui sensibilidade para detectar gás metano e GLP (Figura 16), e o sensor *MQ-6* possui também boa sensibilidade para gás metano e GLP (Figura 17), ambos se adéquam ao projeto, porém podem ter sensibilidades diferentes em relação à umidade (PIRES, 2018).

Figura 14 – Imagem interna da incubadora obtida com a *RaspiCam*.



Fonte: Autor.

Figura 15 – Características sensitivas do sensor MQ-135.



Fonte: *Datasheet* do sensor MQ-135 - Hanwei Eletronics

6.2.2.3 MH-Z19B

O módulo de gás *MH-Z19B* usa o princípio infravermelho não dispersivo (*NDIR*) para detectar a existência de CO₂ no ar, ele é desenvolvido pela forte integração da tecnologia madura de detecção de absorção de gás e design de circuito óptico de precisão. Esse sensor tem uma acurácia de $\pm(50\text{ppm} + 5\% \text{ do valor da leitura})$ e é disponibilizado em três modelos de alcance de detecção de gás CO₂: 0~2000ppm; 0~5000ppm; 0~10000ppm, que é correspondente às determinadas concentrações de dióxido de carbono, respectivamente: 0~0,2%; 0~0,5%; 0~1%. (ZHENGZHOU WIN-

Figura 16 – Características sensitivas do sensor MQ-4.

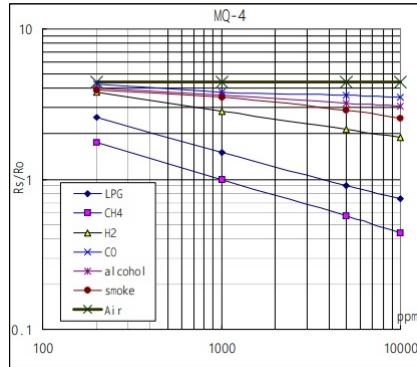
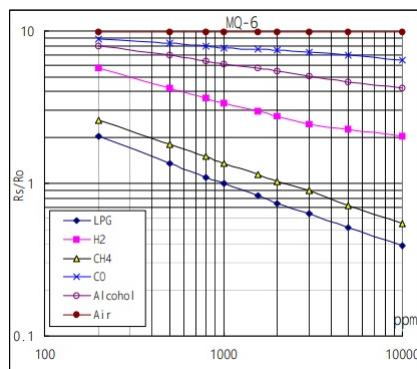
Fonte: *Datasheet do sensor MQ-4 - Hanwei Eletronics*

Figura 17 – Características sensitivas do sensor MQ-6.

Fonte: *Datasheet do sensor MQ-6 - Hanwei Eletronics*

(SEN ELECTRONICS TECHNOLOGY CO., 2020)

6.2.3 Sensor de luminosidade

Estudos comprovam que a incidência de luz durante a incubação dos ovos pode melhorar a taxa de eclosão de ovos férteis e até mesmo um aumento na qualidade dos pintinhos após a eclosão, isso se dá devido ao crescimento acelerado decorrente da exposição à luz (ARCHER, 2015).

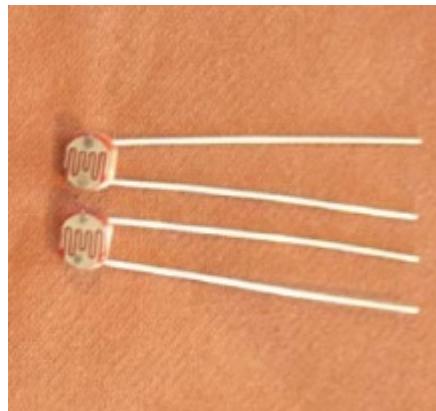
Um dos sensores mais comuns para medição de iluminação é o sensor resistivo LDR (*Light Dependent Resistor*) (PATSKO, 2006).

6.2.3.1 LDR

Um LDR (*Light-Dependent resistor*), também chamado de foto resistor ou célula fotocondutiva é um resistor variável cuja resistência depende da intensidade da luz incidente. É um dispositivo semicondutor fabricado a partir dos compostos de seleneto

de cádmio, sulfeto de cádmio, antimoneto de índio e sulfeto de chumbo (ROMÁN-RAYA *et al.*, 2020).

Figura 18 – Sensor LDR



Fonte: Datasheet do sensor LDR

6.2.4 Sensor de umidade e temperatura

A temperatura é um dos fatores mais importantes na incubação, ou seja, a que mais afeta as taxas de eclosão. Recomenda-se que a temperatura da incubadora esteja entre 37,5°C e 38,1°C ($37,8^{\circ}\text{C} \pm 0,3^{\circ}\text{C}$) até o décimo sétimo dia de incubação. A temperatura externa na incubadora também influencia a temperatura interna, sendo indicado que esta permaneça entre $24^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$. Após o décimo sétimo dia os ovos podem incrementar a temperatura da incubadora, logo, é recomendada a diminuição gradual da temperatura em $0,2^{\circ}\text{C}$ por dia para que as altas temperaturas não afetem o desenvolvimento embrionário (PEREIRA, 2009).

A umidade também é um fator importante, porém a variação da umidade causa menos danos à eclosibilidade do que a temperatura. A umidade relativa deve permanecer por volta de 60% até o décimo oitavo dia de incubação e por volta de 70% após a transferência para o nascedouro (PEREIRA, 2009).

O autor Burnham *et al.* (2001) faz uma comparação entre as umidades relativas de 43%, 53% e 63% à temperatura constante de $37,5^{\circ}\text{C}$, e afirma que a umidade de 53% durante o período incubatório pode melhorar a qualidade da ave após a incubação.

6.2.4.1 DHT22

O *DHT22* é um sensor digital básico de temperatura e umidade de baixo custo capaz de medir dois parâmetros: temperatura e umidade. Para umidade sua acurácia é de $\pm 2\%$ UR , e para temperatura é de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ dentro de um alcance de -40°C à 80°C (PIRES, 2018).

6.2.4.2 DS18B20

Segundo Martinazzo e Orlando (2016) o sensor *ds18b20* tem uma temperatura de operação na gama de -55 °C a + 125 °C e tem uma acurácia de ±0,5 °C ao longo da faixa de -10 °C a + 85 °C. Aplicações como controles ambientais de aquecimento, ventilação e ar condicionado, que permitem o monitoramento de temperatura em sistemas no interior de edifícios, equipamentos ou máquinas e processo de monitoramento e controle de sistemas podem se beneficiar desta funcionalidade.

6.2.4.3 RTD

Um sensor *RTD* (*Resistance Temperature Detector*) consiste em uma bobina de fio ou filme de metal puro depositado, a resistência do elemento aumenta com a temperatura de maneira conhecida e repetível. Segundo o site Temperature Controls Pty Ltd (s.d.) o modelo *1/10 DIN* possui uma acurácia de ±0,06 °C à 40 °C.

6.2.5 Atuadores

Esta seção dispõe os componentes atuadores do sistema, que foram utilizados para controlar o sistema.

6.2.5.1 Cama de aquecimento

Para gerar calor dentro da incubadora foi utilizado uma cama de aquecimento para impressora 3D MK2b com as seguintes especificações:

- Dimensão: 214mm x 214mm
 - Laminado FR4 1.6+-0.15mm
 - 2 camadas de 35 μm de mercúrio
 - Máscara de solda em ambos os lados
 - Serigrafia branca em ambos os lados
 - Entrada de energia 12V ou 24v
 - Furos banhados á cobre
 - Resistência entre 1.0-1.2 ohm (12V) ou 3-3.4 ohm (24V)
- (REPRAP, s.d.)

6.2.5.2 Motor de Passo

O motor de passo utilizado é o *28BYJ-48* junto de um *driver ULN2003*, que através de um sistema de roldanas e conectado à uma esteira de rolagem, permite que a rolagem dos ovos seja feita remotamente, sem que a porta da chocadeira seja aberta, prevenindo assim a desestabilização do sistema.

Figura 19 – Cama de Aquecimento *Mk2b*.

Fonte: Site do fabricante RepRap (s.d.)

Figura 20 – Motor de Passo 28BYJ-48.

Fonte: *Datasheet* do motor de passo Kiatronics (s.d.)

6.2.5.3 Coolers

Para realizar a ventilação forçada foram utilizados dois *coolers* de computador modelo *F7-MB10BK Storm 8CM C3Tech*, um *cooler* posicionado na parte superior da incubadora paralela ao teto, soprando diretamente em cima da cama de aquecimento para dissipar o calor, e outro *cooler* em uma das laterais da incubadora soprando

longitudinalmente com a finalidade de homogenizar o ar.

Figura 21 – *Cooler fan F7-MB10BK Storm 8cm C3Tech.*



Fonte: *Datasheet do cooler fan F7-MB10BK Storm 8cm C3Tech C3Technology (s.d.)*

6.2.5.4 Fonte

Para alimentar a cama de aquecimento foi utilizado uma fonte chaveada de 12V e 15A, para os *coolers* e para o motor de passo, uma fonte de computador reciclada.

6.2.6 Circuitos Integrados

6.2.6.1 Mosfet

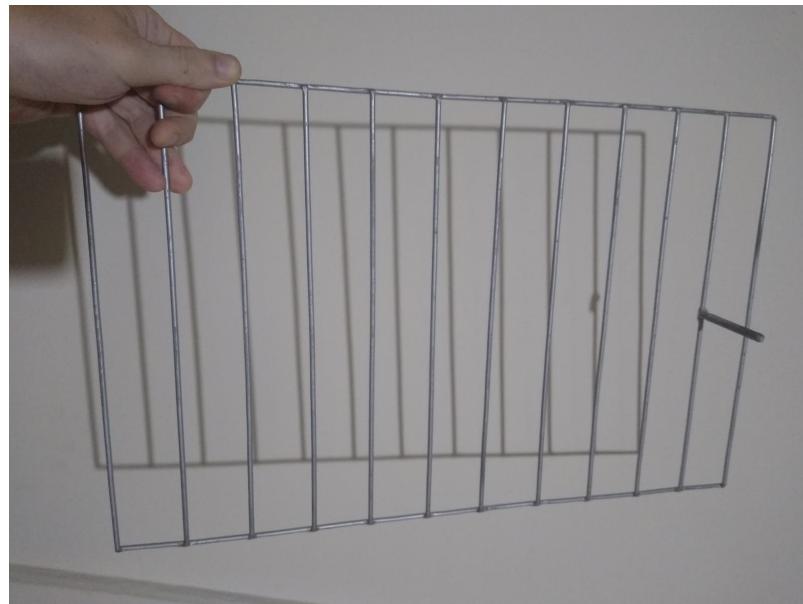
O controle de potência da cama de aquecimento foi controlado através da porta PWM do *Raspberry Pi* conectado à um modulo contendo um *mosfet tipo N* do modelo *AOD4184*.

6.2.7 Outros materiais

6.2.7.1 Grade de rolagem

Para fazer a rolagem dos ovos foi utilizado uma grade de rolagem manufaturada similar às grades de rolagem de chocadeiras encontradas no mercado de dimensões 47x30cm.

Figura 22 – Grade de rolagem de ovos.



Fonte: Autor.

6.2.7.2 Recipiente com água

Para elevar a umidade de dentro da incubadora foi necessário utilizar um recipiente no fundo da incubadora contendo água. O recipiente escolhido foi um recipiente de plástico encontrado no mercado que coubesse dentro da incubadora ocupando a maior área possível, para aumentar a superfície de contato com o ar.

6.2.7.3 Aquecedor submersível

Para aquecer a água de dentro do recipiente e elevar a umidade da incubadora foi utilizado um aquecedor submersível para aquário com termostato de 50W, mostrado na Figura 23.

O maior recipiente para água encontrado que coubesse dentro da incubadora tem capacidade para 6 litros de água, ou seja, considerando o calor específico da água $4200 \text{ J/kg}/\text{°C}$ e a densidade da água 1 kg/litro , e considerando um aumento de temperatura de 13°C (temperatura máxima do termostato do aquecedor submerso subtraído da temperatura mínima indicada para a temperatura externa) temos que: $6 \times 4200 \times 13 = 327600 \text{ Joules}$, $1 \text{ Watt} = 1 \text{ Joules de energia por segundo}$, ou seja, um aquecedor de 50W seria capaz de fornecer um ganho de 13°C à 6 litros de água em $327600/50 = 6552$ segundos, que é equivalente à 109 minutos e 12 segundos. (HE-ATWEB, s.d.)

Figura 23 – Aquecedor submersível para aquário.



Fonte: Autor.

6.3 MODELAGEM

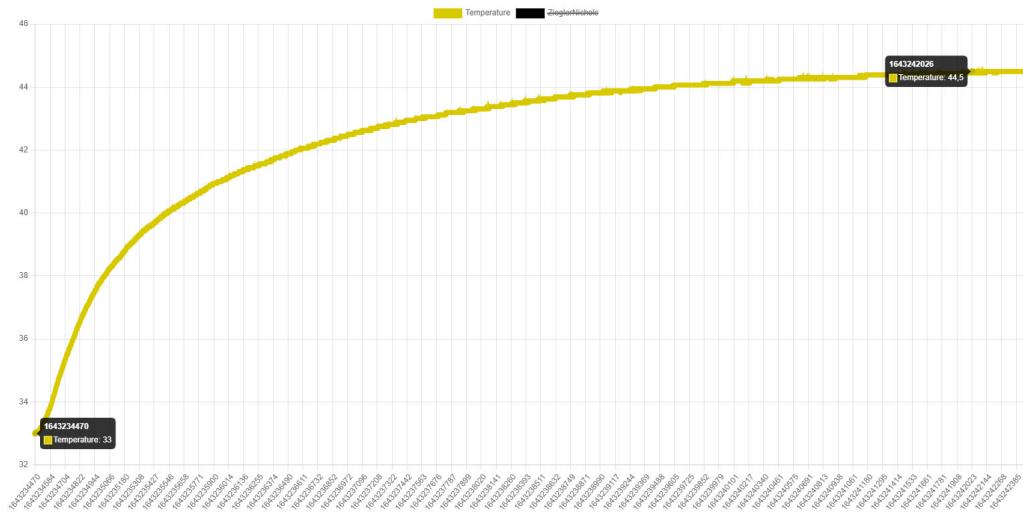
6.3.1 Método de Ziegler Nichols

Segundo Ogata (2018) o primeiro método de Ziegler Nichols consiste em obter experimentalmente a resposta de um sistema a uma entrada em degrau unitário. Após registrar a resposta do sistema a uma entrada em degrau unitário (como mostra a curva *Temperature*, que mostra a temperatura em graus Celsius captada pelo sensor *ds18b20* nas Figuras 24 e 26), foi necessário encontrar o ponto de inflexão da curva *Temperature* que tem formato sigmoidal, assim como esperado.

Para encontrar o ponto de inflexão foi necessário extrair as informações do banco de dados e abrir os dados com a ferramenta *Google Sheets*, e após remover todas as informações dentro de um intervalo de variação mínima de temperatura e calcular a variação de temperatura para cada intervalo de tempo ($\Delta y/\Delta x$), foi possível plotar o gráfico da Figura 25, a qual o instante 0 é equivalente ao instante inicial da Figura 24 (segundo 1643234470 em *epoch time*) e assim consecutivamente pelos próximos 767 segundos. A linha azul representa a derivada da curva *Temperature* mostrada na Figura 24, e a linha preta representa uma linha de tendência do tipo média móvel gerado automaticamente pelo software *Google Sheets*.

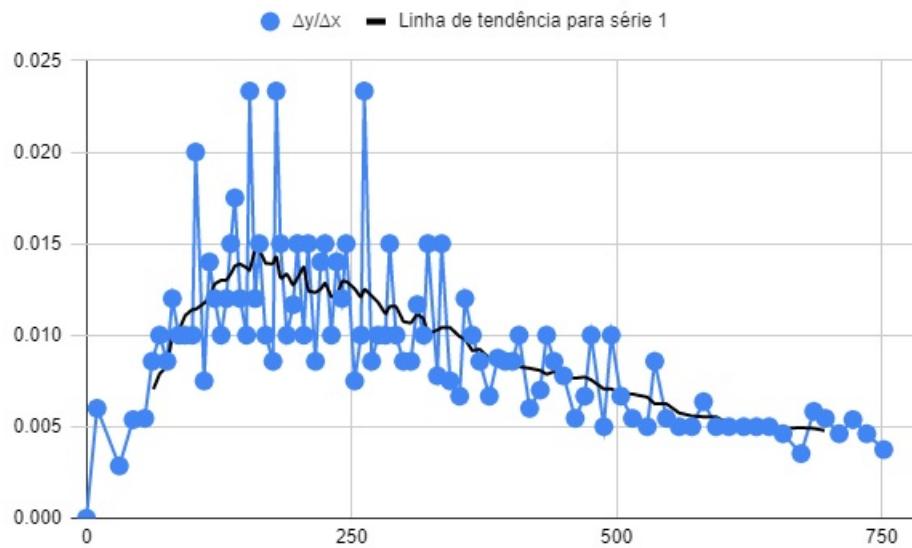
O ponto de inflexão é dado pelo vértice da curva ($\Delta y/\Delta x$) na Figura 25, que está localizado aproximadamente no instante de tempo 154 da Figura 25, logo, para traçar a reta tangente ao ponto de inflexão foram utilizados dois pontos ao redor do ponto de

Figura 24 – Curva de temperatura em malha aberta.



Fonte: Autor.

Figura 25 – Gráfico da derivada da temperatura em malha aberta com linha de tendência.



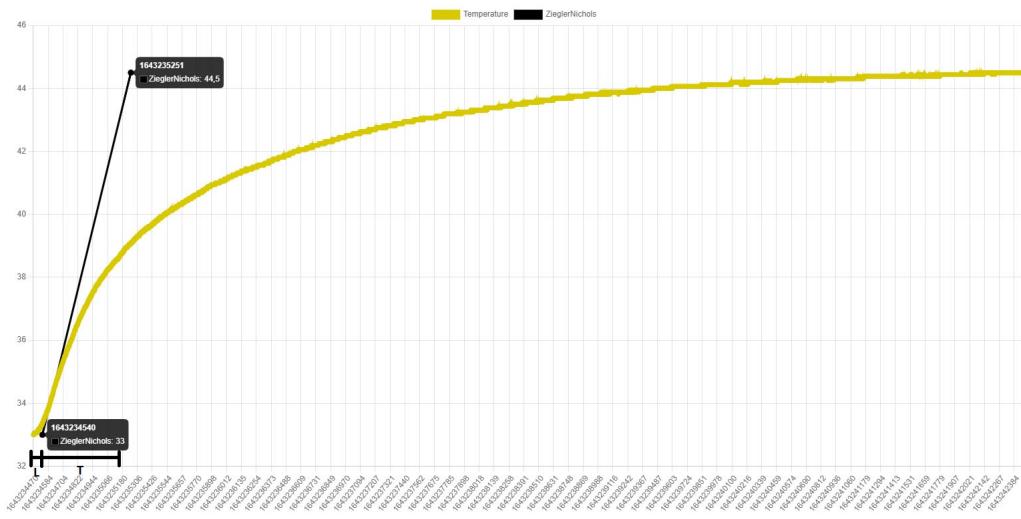
Fonte: Autor.

inflexão, um antes e um depois($x=151$, $y=34,31$ e $x=159$, $y=34,44$), que deu origem à reta $y = 0,01625 * x + 34,31$, representada pela reta de cor preta na Figura 26 deslocada 1643234470 segundos.

Segundo Ogata (2018) a curva com formato de S pode ser caracterizada por duas constantes, a constante de atraso (L) e a constante tempo (T). A constante de atraso é resultante da projeção da reta tangente ao ponto de inflexão no instante em

que o valor da reta tangente é o mesmo valor do ponto inicial da resposta do sistema ao degrau unitário, e a constante tempo é resultante da projeção da mesma ao ponto de valor máximo da resposta do sistema ao degrau unitário, onde o valor é constante. Sendo assim, temos que $L=70$ segundos e $T=711$ segundos (vide Figura 26).

Figura 26 – Curva de temperatura em malha aberta e reta tangente ao ponto de inflexão.



Fonte: Autor.

O ganho unitário do sistema é dado pela variação de temperatura total do sistema dividido pela variação total de frequência do sistema, ou seja, $k = (44,5 - 33)/(60 - 0)$, logo $k \approx 0,192^\circ\text{C}/\text{Hz}$. A regra de sintonia de Ziegler-Nichols baseada na resposta ao degrau do sistema para um tipo de controlador PI diz que a constante proporcional $K_p = 0,9 * T/L$, $T_i = L/0,3$, e a constante integrativa $K_i = K_p/T_i$, logo, para esse sistema, $K_p \approx 9,14$ e $K_i \approx 0,039$. Para aplicar no controlador o algoritmo da Figura 27 é necessário ainda dividir esse valores pelo ganho unitário do sistema, e assim obtemos $K_p \approx 47,694$ e $K_i \approx 0,204$.

O trecho do algoritmo da Figura 27 é o trecho de código responsável por determinar o quanto de energia o controlador vai fornecer para aquecer o sistema. Há também um trecho do sistema que mapeia a variável PI de 0 à 100, pois se a temperatura lida pelo sensor for maior que o *setpoint* o erro será negativo.

O resultado obtido ao aplicar o método de controle Ziegler-Nichols é apresentado na Figura 28. Onde a linha preta é o percentual de potência da fonte que está sendo fornecido ao sistema para aproximar a temperatura (reta amarela) do *setpoint* (reta vermelha).

Após encontrar os coeficientes K_p e K_i , foi adicionado também um coeficiente K_d que atua com base na diferença das duas últimas leituras, regulado através de

Figura 27 – Trecho de código utilizado para o controle PI.

```

65  GPIO.setup(32,GPIO.OUT)           #heater pin
66  p = GPIO.PWM(32,60)
67  p.start(0)

70  setpoint = 38      #em graus celsius
71  kP = 47.7
72  kI = 0.2
73  kD = 0
74  potMax=90

88  def main():

106      #PID Cicle
107      error = setpoint - tempRead
108      P = error*kP
109      I += error*kI

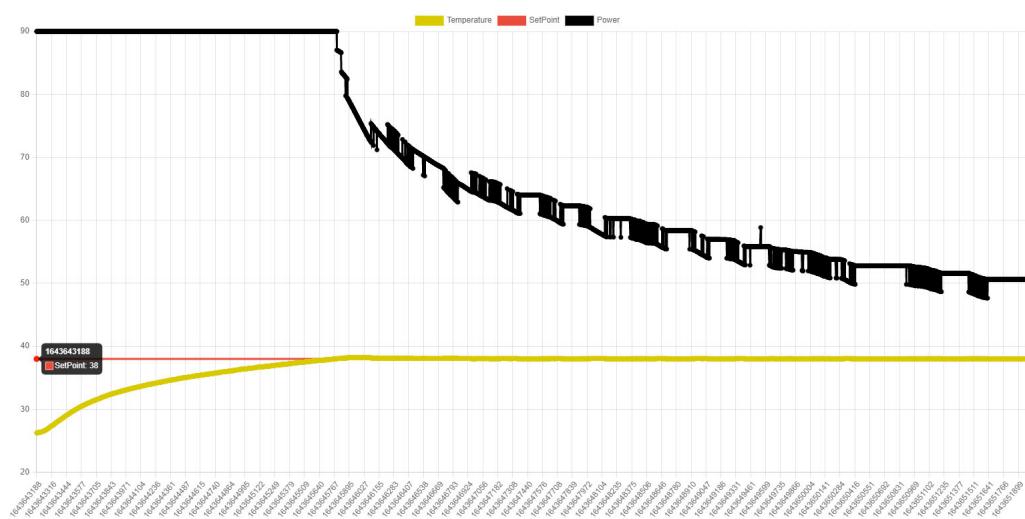
113      PI=P+I

120      p.ChangeDutyCycle(PI)

```

Fonte: Autor.

Figura 28 – Gráfico de temperatura após implementar o controle PI.



Fonte: Autor.

análise gráfica de comportamento, tendo como resultado todas as Figuras de gráficos exibidas no capítulo Resultados.

6.4 PROGRAMAÇÃO

6.4.1 Linguagem Python

Python é uma linguagem de programação interpretada, orientada a objetos e de alto nível com semântica dinâmica. Suas estruturas de dados embutidas de alto nível, combinadas com tipagem dinâmica e vinculação dinâmica, tornam-no muito atraente para o desenvolvimento rápido de aplicativos, bem como para uso como linguagem de *script* ou colagem para conectar componentes existentes. A sintaxe simples e fácil de aprender do *Python* enfatiza a legibilidade e, portanto, reduz o custo de manutenção do programa. *Python* oferece suporte a módulos e pacotes, o que incentiva a modularidade do programa e a reutilização de código. O interpretador *Python* e a extensa biblioteca padrão estão disponíveis na forma de código-fonte ou binário gratuitamente para todas as plataformas principais e podem ser distribuídos gratuitamente (PYTHON SOFTWARE FOUNDATION, s.d.).

6.4.1.1 Flask

Flask é uma estrutura leve de aplicativo da web *WSGI* (*Web Server Gateway Interface*). Ele foi projetado com a capacidade de escalar para aplicativos complexos, começou como um invólucro simples em torno de *Werkzeug* e *Jinja* e se tornou uma das estruturas de aplicativos da web *Python* mais populares (PALLET PROJECTS, s.d.).

O *Flask* oferece sugestões, mas não impõe nenhuma dependência ou layout do projeto. Cabe ao desenvolvedor escolher as ferramentas e bibliotecas que deseja usar. Existem muitas extensões fornecidas pela comunidade que facilitam a adição de novas funcionalidades (PALLET PROJECTS, s.d.).

6.4.2 Armazenamento de Dados

6.4.2.1 Amazon DynamoDB

"O *Amazon DynamoDB* é um serviço de banco de dados *NoSQL* totalmente gerenciado que fornece uma performance rápida e previsível com escalabilidade integrada. O *DynamoDB* permite que você transfira os encargos administrativos de operação e escalabilidade de um banco de dados distribuído. Assim, você não precisa se preocupar com provisionamento, instalação e configuração de hardware, replicação, correção de software nem escalabilidade de *cluster*. Além disso, o *DynamoDB* oferece criptografia em repouso, o que elimina a carga e a complexidade operacionais envolvidas na proteção de dados confidenciais (AMAZON WEB SERVICES, s.d.[b])."

6.4.2.2 Modelo do Banco Não Relacional

O banco de dados foi modelado conforme Amazon Web Services (s.d.[a]), cada dado deve possuir uma *Partition Key* (chave de partição) e uma *Sort Key* (chave de

classificação), além de um ou mais pares de atributo e valor.

A *Partition Key* recebe o nome do estágio da incubação; a *Sort Key* recebe o sensor em que foi realizado a leitura concatenado com o tempo em que foi enviado a informação em *epoch time*; o atributo e valor mudam de acordo com cada sensor.

6.4.3 Execução do Projeto

A largura da estrutura foi dimensionada com base no tamanho da grade de rolagem, a profundidade também foi dimensionada com base no tamanho da grade de rolagem e da largura das tábuas de madeira disponíveis na madeireira, e a altura foi feita no tamanho máximo para utilizar a mesma tábua das demais partes, vide Figura 29.

Figura 29 – Projeto da incubadora de ovos quase finalizado.



Fonte: Autor.

6.4.4 Código-fonte

O código-fonte do projeto está disponível em: github.com/phfuks/EggIncubator

7 RESULTADOS

A decisão de não utilizar ovos férteis partiu do pretexto de que: caso o projeto falhasse, os embriões seriam expostos à condições não adequadas, podendo assim comprometer a vida do futuro pintainho; caso o projeto fosse bem sucedido os pintinhos necessitariam de uma estrutura de nascedouro, vacinação e espaço para o desenvolvimento.

Alguns fatores que estavam fora do alcance do projeto devido ao seu alto custo afetaram diretamente a qualidade das simulações de incubação, como por exemplo o controle da temperatura do ambiente externo à câmara de incubação, como mostram as Figuras 30, 31 e 32.

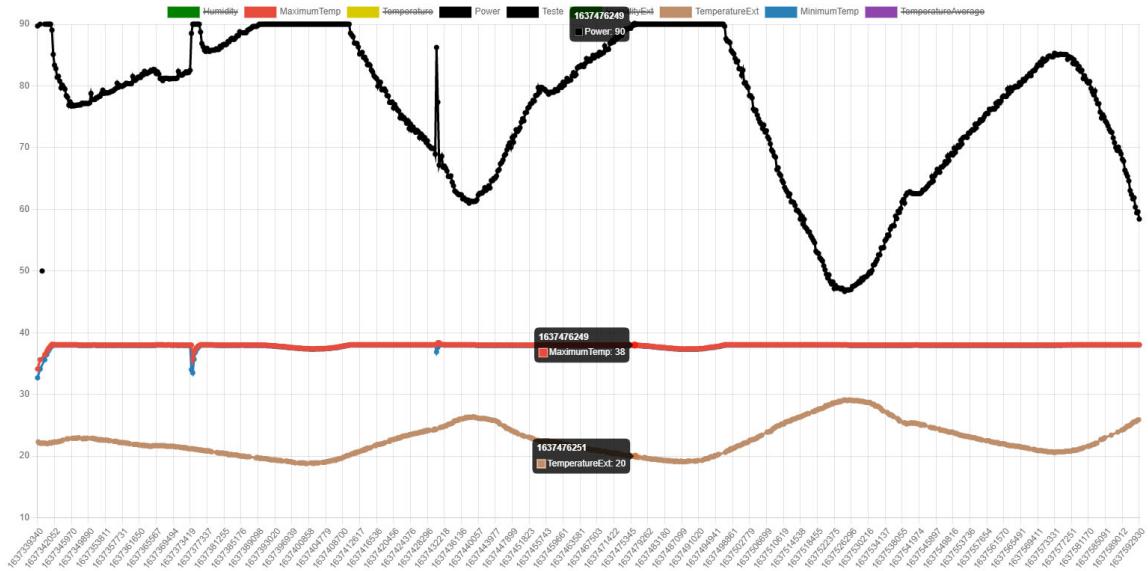
As Figuras 30, 31 e 32 contém 4 linhas cada: as linhas pretas nomeadas *Power* representam o percentual da potência total da fonte utilizado para controlar a cama de aquecimento; as linhas vermelhas e azuis nomeadas *MaximumTemp* e *MinimumTemp* que geralmente estão relativamente próximas, representam respectivamente a temperatura máxima e mínima em graus Celsius entre o intervalo de duas informações; e as linhas marrons nomeadas *TemperatureExt* representam as temperaturas em graus Celsius do ambiente externo na incubadora medidas pelo sensor *DHT22*.

Como podemos observar na Figura 30 que representa o instante de tempo equivalente às 3 horas e 30 minutos da manhã do dia 21 de novembro de 2021, quando a temperatura externa atinge a temperatura de 20°C a fonte utiliza 90% de sua capacidade total, capacidade essa delimitada como máxima por segurança no algoritmo de controle. A seguir na figura 31 que indica o instante de tempo equivalente às 6 horas e 41 minutos da manhã do mesmo dia, mostra o registro mínimo de temperatura externa (19,1°C) e consecutivamente a temperatura mínima nesse mesmo dia dentro da incubadora (37,31°C), muito abaixo do *setpoint* de 38°C. A incubadora só passou a ter potência suficiente para controlar à partir das 9 horas e 17 minutos da manhã do mesmo dia, como mostra a Figura 32 quando a temperatura externa na incubadora aumentou para 20,6°C.

Assim como havia dito a autora Pereira (2009), que afirma que a temperatura externa na incubadora deve permanecer entre $24^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$, a incubadora desenvolvida para esse projeto apresentou riscos à vida do suposto embrião quando foi sujeita à temperaturas pouco menores do que a da margem sugerida, como mostram as Figuras 30, 31 e 32.

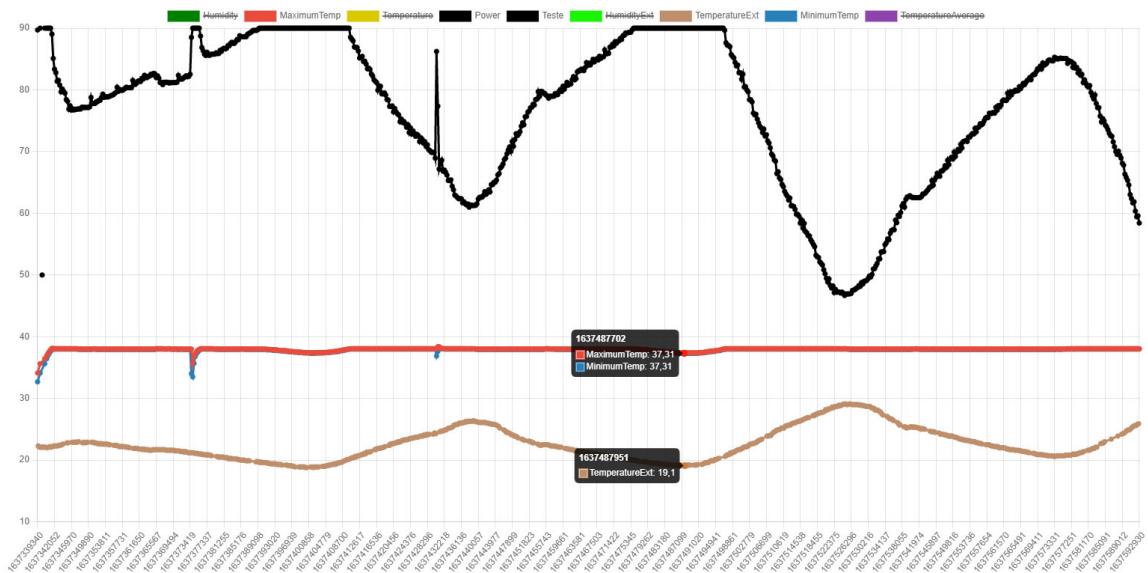
Ao medir a água com termômetro de mercúrio percebeu-se que na maioria das vezes a água utilizada para elevar a umidade que fica no recipiente dentro da incubadora estava mais próxima da temperatura externa do que da temperatura interna. Na tentativa de aumentar a temperatura da água de dentro do recipiente foi utilizado um aquecedor de aquário, configurado na temperatura de 34°C (temperatura máxima).

Figura 30 – Gráfico de diminuição de temperatura externa - início.



Fonte: Autor.

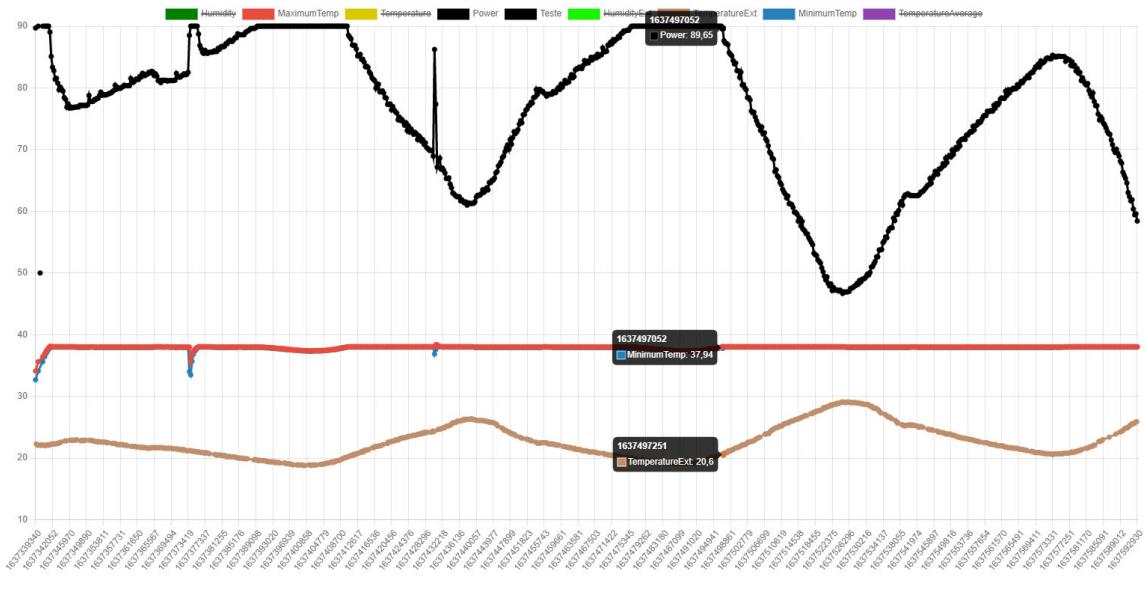
Figura 31 – Gráfico de diminuição de temperatura externa - ponto mais crítico no dia.



Fonte: Autor.

A Figura 33 mostra o gráfico antes de utilizar o aquecedor na água, e a Figura 34 mostra o gráfico com o mesmo ligado. As linhas verdes escuras e verdes claras nomeadas *Humidity* e *HumidityEXT* representam respectivamente o percentual de umidade relativa dentro e fora da incubadora medidos pelo sensor *DHT22*; as linhas pretas nomeadas *Power* representam o percentual da potência total da fonte utilizado para controlar a cama de aquecimento; as linhas marrons nomeadas *TemperatureExt*

Figura 32 – Gráfico de diminuição de temperatura externa - fim.



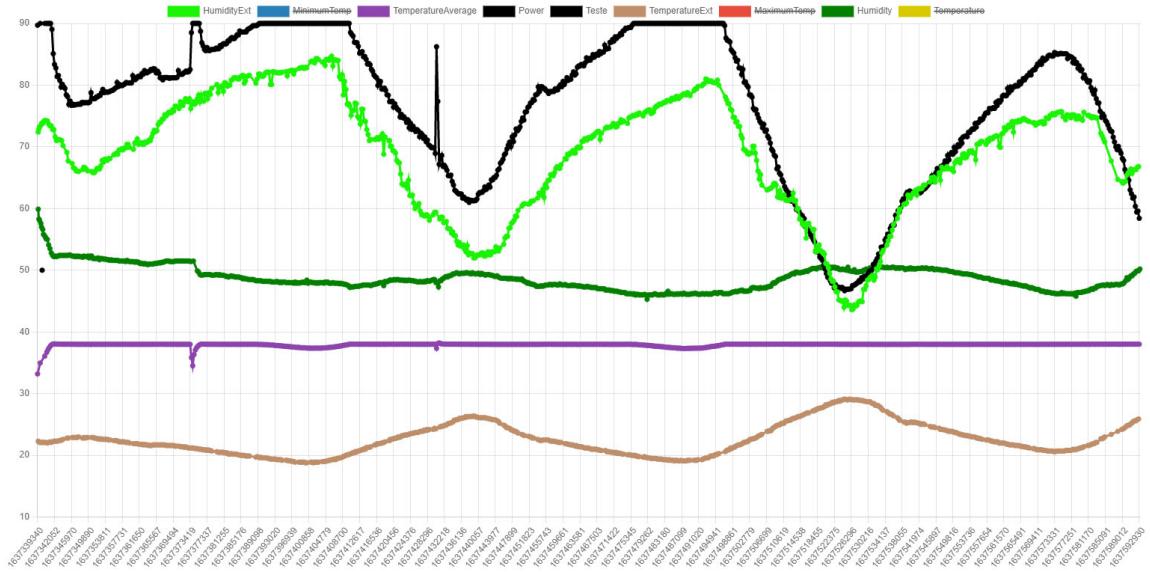
Fonte: Autor.

representam as temperaturas em graus Celsius do ambiente externo na incubadora medidas pelo sensor *DHT22*; e as linhas roxas nomeadas *TemperatureAvarage* representam as médias das temperaturas em graus Celsius medidas pelo sensor *ds18b20* entre o intervalo de tempo de duas amostras do gráfico;

Podemos perceber comparando as Figuras 33 e 34 que aquecer a água de fato aumentou a umidade dentro da incubadora, e podemos perceber também na Figura 34 que a curva *Power* que representa a potência percentual em relação à potência máxima da fonte fornecida à mesa de aquecimento Mk2b adquiriu um formato serrilhado em comparação a Figura 33, e que quando a curva *Power* está crescente a curva *Humidity* está decrescente, ou seja, quando o aquecedor da água está trabalhando para aumentar a temperatura da água e consequentemente gerando umidade, todo o sistema da incubadora ganha também calor, e o sistema de controle de temperatura compensa diminuindo a quantidade de energia que é mandado para a cama de aquecimento Mk2b.

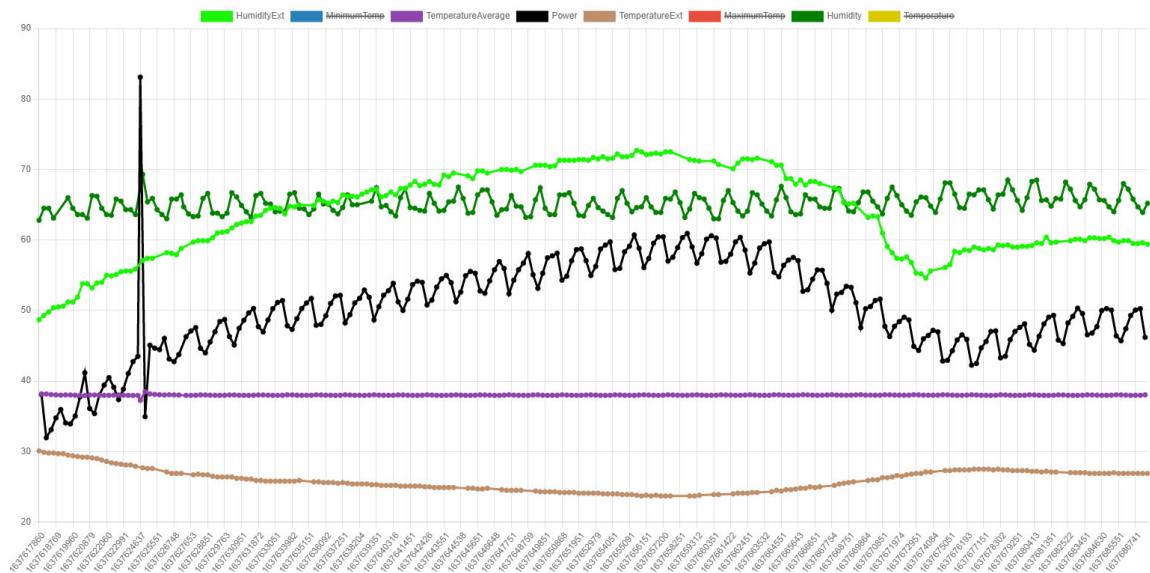
Também foram feitas tentativas utilizando um umidificador piezoelétrico, porém ao atingir a umidade relativa de 66,4% o sistema saturou, gerando um acúmulo de água próximo do ponto de dispersão de partículas de água impedindo assim que as partículas subsequentes se espalhassem por dentro da incubadora, como mostra a Figura 35. A linha verde nomeada *Humidity* representa o percentual de umidade dentro da incubadora medido pelo sensor *DHT22*, e a linha roxa nomeada *TemperatureAvarage* representa a média das temperaturas em graus Celsius medidas pelo sensor *ds18b20* entre o intervalo de tempo de duas amostras do gráfico;

Figura 33 – Gráfico com o aquecedor submerso desligado.



Fonte: Autor.

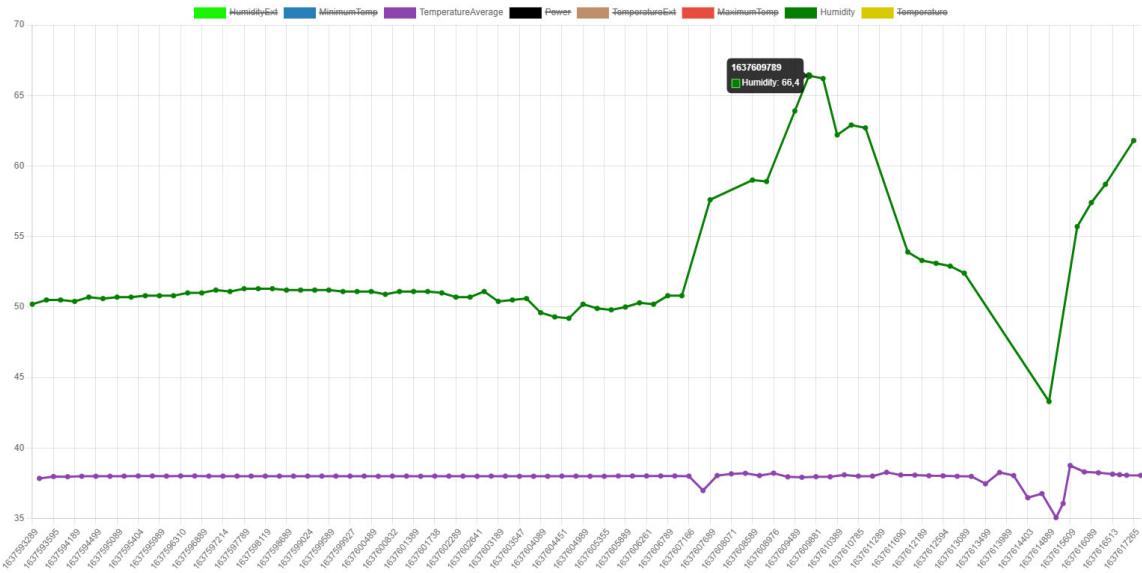
Figura 34 – Gráfico com o aquecedor submerso ligado.



Fonte: Autor.

Um dos gráficos com maior número de registros é o da Figura 36, com quatro pequenas interrupções antes do tempo indicado (segundo 1637882170 em *epoch time*). Nesse gráfico é possível observar nitidamente as seis variações extremas de temperatura ao longo dos seis dias de amostra. A linha preta nomeada *Power* representa o percentual da potência total da fonte utilizado para controlar a cama de aquecimento; as linhas verdes escuras e verdes claras nomeadas *Humidity* e *HumidityEXT* repre-

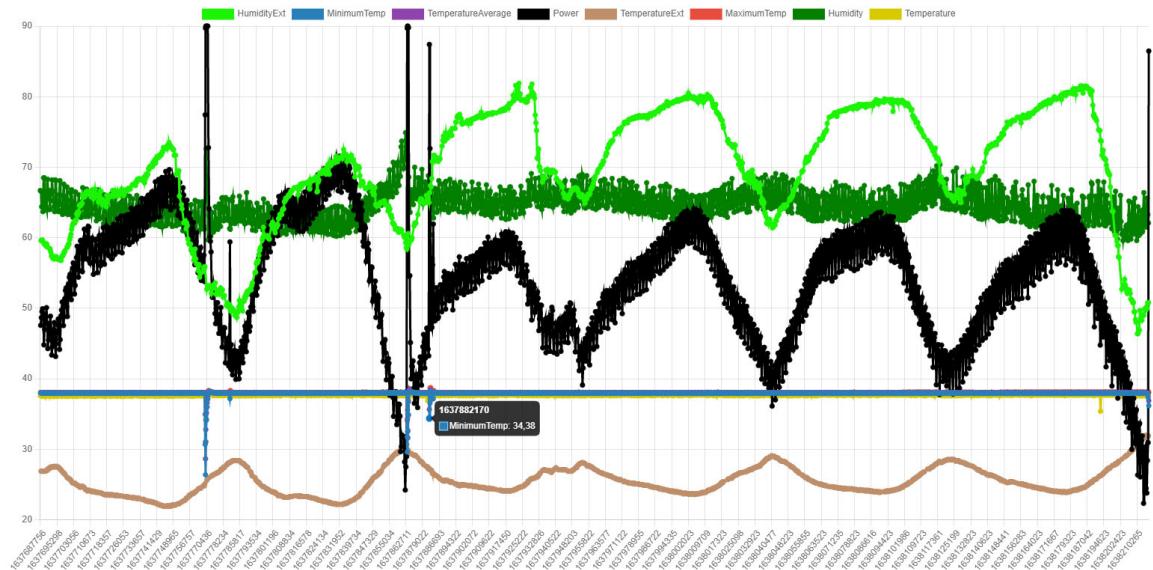
Figura 35 – Gráfico de umidade gerada por um umidificador piezoeétrico.



Fonte: Autor.

sentam respectivamente o percentual de umidade relativa dentro e fora da incubadora medidos pelo sensor *DHT22*; a linha marrom nomeada *TemperatureExt* representa as temperaturas em graus Celsius do ambiente externo na incubadora medidas também pelo sensore *DHT22*; as linhas vermelhas e azuis nomeadas *MaximumTemp* e *MinimumTemp* que geralmente estão relativamente próximas, representam respectivamente a temperatura máxima e mínima em graus Celsius medido pelo sensor *ds18b20* entre o intervalo de duas informações; e a linha roxa nomeada *TemperatureAvarage* representa a média das temperaturas em graus Celsius medidas pelo sensor *ds18b20* entre o intervalo de tempo de duas amostras do gráfico;

Figura 36 – Gráfico de funcionamento em um período de 6 dias.



Fonte: Autor.

8 CONCLUSÃO

Verificamos que alguns sensores não oferecem a mesma precisão e confiabilidade que um aparelho profissional, mas novos sensores estão surgindo no mercado e estes estão cada vez mais precisos e confiáveis, além de oferecerem diferentes formas de usabilidade. Aparelhos profissionais podem ser utilizados em conjunto com esses sensores para garantir o melhor funcionamento, como por exemplo diagnóstico de confiabilidade e calibragem.

No ramo da pecuária já existem equipamentos muito precisos e que oferecem ótimos resultados, e incluem funções como pesagem do ovo para monitorar a perda de umidade e sensores que medem a espessura da casca do ovo, porém têm um custo muito elevado e na maioria das vezes são equipamentos industriais, que exigem uma estrutura que também possui alto custo, e que muitas vezes se torna inviável para produtores de pequeno/médio porte.

Não foi possível apresentar os testes com os sensores de gases e luminosidade nesse estudo (aos quais os artigos dos autores Archer (2015) e Onagbesan *et al.* (2007) relevam a importância), porém o software desenvolvido para gerar os gráficos foi feito de forma dinâmica, ou seja, basta fornecer os dados de qualquer sensor respeitando os padrões de dados estabelecidos que ele irá formatar e plotar um novo conjunto de informações.

O protótipo foi perfeitamente capaz de fornecer estabilidade térmica, o sensor *ds18b20* mostrou ser preciso e com uma boa taxa de leitura facilitando assim o controle, porém sua acurácia é de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ que não é suficiente, e por isso seria mais indicado utilizar o sensor *RTD*. Já os sensores *DHT22* além de apresentarem uma taxa de leitura lenta, demonstraram não ser muito confiáveis pois boa parte das leituras tiveram que ser descartadas com uma condicional no código, pois apontavam temperaturas e umidades fisicamente impossíveis, mas serviram bem como um recurso auxiliar para leitura de temperatura.

Esse trabalho não envolveu a incubação de ovos férteis, a todo momento foram utilizadas somente cascas de ovos vazias e por esse motivo não foi possível fornecer uma taxa de eclosão ao experimento, mas os gráficos extraídos dos experimentos nas condições ideais mostraram que o sistema foi perfeitamente capaz de controlar os parâmetros de temperatura e umidade.

O sistema não foi capaz de fornecer estabilidade térmica quando submetido a uma temperatura externa abaixo do que sugere a autora Pereira (2009); esse problema pode ser resolvido controlando também a temperatura externa na chocadeira.

A umidade oscilou muito apesar de permanecer dentro do limite, pois o equipamento responsável por aquecer a água e gerar umidade não era controlado por software, e sim pelo próprio equipamento (aquecedor de aquário). Uma boa proposta

para resolver o problema é o uso de algum outro aquecedor submerso que permita utilizar o mesmo método de controle que foi utilizado para a temperatura.

Também não foi possível comparar os dados abstraídos com outros equipamentos de medição mais sofisticados, porém, os resultados gerados foram relativamente próximos ao estudo dos autores Bielsch e Souza (2014) realizado com equipamentos de medição similares e controlado por um sistema industrial de incubação.

Através dos dados obtidos com esse protótipo, verificamos que é possível incubar um ovo artificialmente sem fazer uso de tecnologias muito avançadas (como faziam os egípcios) e obter-se um bom índice de taxa de eclosão, porém, pode também exigir muito trabalho, como por exemplo a rolagem manual dos ovos.

REFERÊNCIAS

AMAZON WEB SERVICES. Best Practices for Designing and Architecting with DynamoDB. [S.l.: s.n.]

<https://docs.aws.amazon.com/amazondynamodb/latest/developerguide/best-practices.html>. [Online; acesso em: 07-Fevereiro-2022].

AMAZON WEB SERVICES. What Is Amazon DynamoDB? [S.l.: s.n.]. <https://docs.aws.amazon.com/amazondynamodb/latest/developerguide/Introduction.html>. [Online; acesso em: 06-Janeiro-2022].

ARCHER, Gregory S. Timing of light exposure during incubation to improve hatchability, chick quality and post-hatch well-being in broiler chickens: 21 or 18 days. **International Journal of Poultry Science**, v. 14, n. 5, p. 293–299, 2015.

BIELSCH, Raines Correa; SOUZA, Tiago Teixeira D E. Automatização da leitura e controle de dados do processo de incubação e produção de ovos. **Universidade Tecnológica Federal do Paraná**, 2014.

BOLELI, Isabel Cristina *et al.* Poultry egg incubation: Integrating and optimizing production efficiency. **Revista Brasileira de Ciencia Avicola**, v. 18, Special Issue 2, p. 1–16, 2016.

BURNHAM, M. R. *et al.* Effects of incubator humidity and hen age on yolk composition in broiler hatching eggs from young breeders. **Poultry Science**, Poultry Science Association Inc., v. 80, n. 10, p. 1444–1450, 2001.

C3TECHNOLOGY. Cooler Fan F7-MB10BK Storm 8CM (Sem Embalagem) C3Tech. **C3Technology**, v. 1, p. 1. Disponível em: <http://www.c3technology.com.br/>.

COBB-VANTRESS. Guia De Manejo De Incubação. **Cobb-Vantress**, p. 40, 2008.

EMBRAPA. **Embrapa Suínos e Aves**. [S.l.: s.n.]

<https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/cias/estatisticas>. [Online; acesso em: 12-Janeiro-2022].

FIGUEIREDO, E. A. P. *et al.* Comunicado Técnico 347 - Raças e Linhagens de Galinhas para Criações Comerciais e Alternativas no Brasil. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**, Embrapa Suinos e Aves, p. 1–8, 2003.

HEATWEB. **Useful Technical Data**. [S.l.: s.n.]

<http://www.heatweb.com/techtips/useful.html>. [Online; acesso em: 06-Fevereiro-2022].

KIATRONICS. 28BYJ-48 – 5V Stepper Motor. **Welten Holdings Ltd**, v. 1, p. 1. Disponível em: <http://www.kiatronics.com/>.

MARQUES, Izaque Epifânio1 *et al.* Incubação artificial de ovos de galinha (*Gallus gallus domesticus*) da linhagem Paraíso Pedrês no município de Tabatinga, Estado do Amazonas. **Revista Científica de Avicultura e Suinocultura**, Universidade Nilton Lins, v. 3, n. 1, p. 009–019, 2017.

MARTINAZZO, Claodomir Antonio; ORLANDO, Tailan. Comparação entre três tipos de sensores de temperatura em associação com arduino. **Perspectiva**, p. 93–104, 2016.

OGATA, Katsuhiko. **Engenharia de Controle Moderno**. [S.I.]: Pearson, 2018.

OLIMEX. Technical Data Mq135 Gas Sensor. **Hanwei Electronics Co.,Ltd**, v. 1, p. 2, 2012. Disponível em: <http://www.hwsensor.com>.

ONAGBESAN, O. *et al.* Gas exchange during storage and incubation of Avian eggs: Effects on embryogenesis, hatchability, chick quality and post-hatch growth. **World's Poultry Science Journal**, v. 63, n. 4, p. 557–573, 2007.

PALLETS PROJECTS. **Flask**. [S.I.: s.n.]

<https://www.palletsprojects.com/p/flask/>. [Online; acesso em: 06-Janeiro-2022].

PATSKO, Lf. Tutorial – Aplicações, Funcionamento e Utilização de Sensores. **Maxwell Bohr: Instrumentação eletrônica**, p. 84, 2006.

PEREIRA, Gabriele. Manejo no incubatório que afeta a eclosibilidade de ovos de galinha (*Gallus Gallus Domesticus*). **Aleph**, 2009.

PIRES, Eduardo Henrique de Souza. Projeto de uma unidade de monitoramento e controle ambiental. **Universidade Federal de Uberlândia**, 2018.

PYTHON SOFTWARE FOUNDATION. **What is Python? Executive Summary**. [S.I.: s.n.]. <https://www.python.org/doc/essays/blurb/>. [Online; acesso em: 06-Janeiro-2022].

RASPBERRY PI FOUNDATION. **Raspberry Pi 3 Model B**. [S.I.: s.n.]

<https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-3-model-b/>. [Online; acesso em: 06-Janeiro-2022].

RASPBERRY PI FOUNDATION. **Raspberry Pi Camera Documentation**. [S.I.: s.n.]. <https://www.raspberrypi.com/documentation/accessories/camera.html>. [Online; acesso em: 06-Fevereiro-2022].

RASPBERRY PI FOUNDATION. **Raspberry Pi Documentation**. [S.I.: s.n.]

<https://www.raspberrypi.com/documentation/computers/os.html>. [Online; acesso em: 06-Janeiro-2022].

- RASPBERRY PI FOUNDATION. **What is a Raspberry Pi?** [S.l.: s.n.]. <https://www.raspberrypi.org/help/what-is-a-raspberry-pi/>. [Online; acesso em: 06-Janeiro-2022].
- REPRAP. **PCB Heatbed.** [S.l.: s.n.]. https://reprap.org/wiki/PCB_Heatbed. [Online; acesso em: 10-Janeiro-2022].
- ROMÁN-RAYA, Juan *et al.* Light-dependent resistors as dosimetric sensors in radiotherapy. **Sensors (Switzerland)**, v. 20, n. 6, 2020.
- SESTI, Luiz A.C. Biosseguridade em um Programa de Melhoramento Genético de Aves. **II Simpósio de Sanidade Avícola**, Santa Maria, RS, v. 347, p. 1–8, 2000.
- SILVA, Gabriela Fagundes da. Rendimento da incubação e perda de calor dos ovos durante a transferência da incubadora para o nascedouro. **Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho**, 2016.
- SILVA-DE-SOUZA, Thiago *et al.* Botch4: Um Robô Remotamente Controlado Para Detecção De Gás Metano Em Aterros Sanitários. **Green Lifestyle Becoming the Men's New Way of Life**, v. 14, p. 144–148, 2014.
- STEINMETZ, Ricardo L R; KUNZ, Airton. Avaliação da produção de biogás de resíduos de incubatório de ovos. **4º Seminário Brasileiro de Gestão Ambiental na Agricultura**, p. 71–76.
- TEMPERATURE CONTROLS PTY LTD. **RTD accuracy – Class A, Class B, 1/3 DIN, 1/10 DIN.** [S.l.: s.n.]. <https://www.temperature.com.au/Support/RTDSensors/RTDaccuracyClassAClassB13DIN110DIN.aspx>. [Online; acesso em: 09-Março-2022].
- ZHENGZHOU WINSEN ELECTRONICS TECHNOLOGY CO., Ltd. Infrared CO2 Sensor Module (Model: MH-Z19B). **Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co., Ltd**, v. 1.6, p. 9, 2020. Disponível em: <https://www.winsen-sensor.com/>.