



UNIVERSIDADE DO VALE DO TAQUARI  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS  
CURSO DE ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

**SISTEMA DE MONITORAMENTO *LORA* APLICADO  
EM UM AVIÁRIO DO TIPO *DARK HOUSE***

Alvin Pedó

Lajeado, novembro de 2020

Alvin Pedó

**SISTEMA DE MONITORAMENTO LORA APLICADO  
EM UM AVIÁRIO DO TIPO DARK HOUSE**

Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado ao Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade do Vale do Taquari UNIVATES, como parte dos requisitos para a obtenção do título de bacharel em Engenharia de Controle e Automação.

Área de concentração: Comunicação *LoRa*, *Dark House*, Programação.

Orientador: M.e Henrique Worm

Lajeado, novembro de 2020

## RESUMO

Este trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema de monitoramento de variáveis através da tecnologia de comunicação sem fio de baixa potência *LoRa*, aplicado em um aviário de modelo *Dark House*, no interior da cidade de Nova Bréscia/RS. Foram monitorados a temperatura, umidade e luminosidade interna do aviário em três pontos distintos ao longo de seu extenso comprimento através de um sistema que foi projetado e instalado, para operar como *endpoint*, um circuito eletrônico sem qualquer conexão física externa capaz de capturar todos esses dados através de sensores e enviá-los para um *gateway*. Este, por sua vez, tem o papel de controlar toda esta arquitetura, capturando informações e enviando-as para um banco de dados na nuvem, chamado *Firebase Realtime Database*. Este banco de dados será consumido por um aplicativo *mobile* desenvolvido em *Flutter*, onde o agricultor poderá averiguar em tempo real conectado à *internet* os valores de cada variável, além de um histórico gráfico dos últimos sete dias, demonstrando a média dos valores a cada hora do dia.

**Palavras-chave:** Comunicação *LoRa*, *Dark House*, *Endpoint*, *Firebase Realtime Database*, Aplicativo *Mobile Flutter*.

## **ABSTRACT**

This work proposes the development of a system for monitoring variables through low power wireless communication technology LoRa, applied in a Dark House model aviary, in the city of Nova Bréscia / RS. The temperature, humidity and internal luminosity of the aviary were monitored at three different points along its long length through a system that was designed and installed, to operate as an endpoint, an electronic circuit without any external physical connection capable of capturing all this data through sensors and send them to a gateway. This, in turn, has the role of controlling all this architecture, capturing information and sending it to a database in the cloud, called Firebase Realtime Database. This database will be consumed by a mobile application developed in Flutter, where the farmer will be able to find out in real time connected to the internet the values of each variable, in addition to a graphic history of the last seven days, showing the average of the values every hour of the year day.

**Keywords:** LoRa Communication, Dark House, Enpoint, Firebase Realtime Database, Mobile Flutter Application.

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 – Sistema de iluminação e divisórias. ....  | 19 |
| Figura 2 – Sistema de ventilação em túnel nas laterias do galpão.....                      | 20 |
| Figura 3 – Formato de mensagem transmitida.....  | 24 |
| Figura 4 – Arquitetura de rede <i>LoRaWAN</i> .....  | 25 |
| Figura 5 – Arquitetura interna das ligações de um microcontrolador .....                   | 28 |
| Figura 6 – Sensor analógico <i>LDR (Light Dependent Resistor)</i> .....                    | 29 |
| Figura 7 – Exemplo de formatação <i>JSON</i> .....   | 32 |
| Figura 8 – Telas visualmente agradáveis construídas em <i>Flutter</i> . ....               | 35 |
| Figura 9 – Arquitetura do projeto com os diversos níveis de comunicação.....               | 37 |
| Figura 10 – Diagrama elétrico dos <i>endpoint's</i> instalados no <i>Dark House</i> . .... | 39 |
| Figura 11 – Pinagem do microcontrolador <i>Attiny85</i> .....                              | 40 |
| Figura 12 – Módulo serial <i>LoRa E32-915T20D</i> . ....                                   | 41 |
| Figura 13 – <i>Software</i> serial de configuração do <i>LoRa Ebyte</i> . ....             | 42 |
| Figura 14 – Antena modelo <i>rubber</i> .....  | 43 |
| Figura 15 – Sensor digital <i>DHT11</i> . ....   | 45 |
| Figura 16 – Esquema de ligação elétrica do <i>gateway</i> . ....                           | 46 |
| Figura 17 – Placa de prototipagem <i>ESP32</i> para a Internet das Coisas. ....            | 47 |
| Figura 18 – Protocolo de comunicação entre <i>endpoint</i> e <i>gateway</i> .....          | 48 |
| Figura 19 – Montagem final do <i>endpoint</i> e <i>gateway</i> .....                       | 52 |
| Figura 20 – Montagem final dos dispositivos.....   | 53 |
| Figura 21 – Instalação dos <i>endpoint's</i> no aviário <i>Dark House</i> .....            | 55 |
| Figura 22 – Console do <i>Firebase Realtime Database</i> .....                             | 56 |
| Figura 23 – Aplicativo <i>LoRa Monitor</i> . ....  | 58 |

## LISTA DE TABELA

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 – Materiais utilizados no projeto. .... | 51 |
|--|----|

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

|        |   |
|--------|---|
| A      | Ampère  |
| ADC    | <i>Analogic to Digital Converter</i> (Conversor Analógico-Digital)                      |
| ARM    | <i>Advanced RISC Machine</i> (Máquina RISC Avançada)                                    |
| B      | <i>Byte</i>   |
| °C     | Graus Celsius   |
| cm     | centímetros   |
| CPU    | <i>Central Processing Unit</i> (Unidade Central de Processamento)                       |
| CRC    | <i>Cyclic Redundancy Check</i> (Verificação Cíclica de Redundância)                     |
| DAC    | <i>Digital-to-Analog Converter</i> (Conversor Digital-Analógico)                        |
| dBi    | ganho em decibéis   |
| dBm    | decibel miliwatt  |
| EP     | <i>Enpoint</i> (Ponto Final)  |
| GaAs   | Arseniato de Gálio  |
| GB     | Gigabyte  |
| GPD    | Ganho de Peso Diário  |
| GPIO's | <i>General Purpose Input/Output</i> (Entrada / Saída de Uso Geral)                      |
| GPS    | <i>Global Positioning System</i> (Sistema de Posicionamento Global)                     |
| Hz     | <i>Hertz</i>  |
| I2C    | <i>Inter-Integrated Circuit</i> (Circuito Inter-integrado)                              |
| IoT    | <i>Internet of Things</i> (Internet das Coisas)   |
| I/O    | <i>Input/Output</i> (Entrada/Saída)   |
| ITU    | <i>International Telecommunication Union</i> (União Internacional das Telecomunicações) |

|          |  |
|----------|--|
| JSON     | <i>JavaScript Object Notation</i> (Notação de Objetos <i>Javascript</i> )    |
| kB       | Quilobyte  |
| kbps     | Quilobit por segundo   |
| kg       | Quilogramas  |
| km       | Quilômetro   |
| LDR      | <i>Light Dependent Resistor</i> (Resistor Dependente de Luz)                 |
| LoRa     | <i>Long Range</i> (Longo Alcance)  |
| LPWAN    | <i>Low Power Wide Area Network</i> (Rede de Baixa Potência de Área Alargada) |
| lux      | luz  |
| M        | Mega   |
| mA       | miliampère   |
| mAh      | miliampère hora  |
| MB       | megabyte   |
| MIPS     | <i>Microprocessor without interlocked pipeline stages</i>                    |
| mm       | milímetros   |
| ms       | milissegundos  |
| m/s      | Metros por segundo   |
| mW       | <i>milliWatts</i>  |
| NTC      | <i>Negative Temperature Coefficient</i>                                      |
| ONU      | Organização das Nações Unidas  |
| $\Omega$ | Ohm  |
| PVC      | Polyvinyl <i>chlorid</i> (Policloreto de vinil)                              |
| PWM      | <i>Pulse Width Modulation</i> (Modulação por Largura de Pulso)               |
| RAM      | <i>Random Access Memory</i> (Memória de Acesso Aleatório)                    |
| s        | segundos   |
| SDK      | <i>Software Development Kit</i> (Kit de Desenvolvimento de <i>Software</i> ) |
| SPI      | <i>Serial Peripheral Interface</i> (Interface Periférica Serial)             |
| UART     | <i>Universal Asynchronous Receiver/Transmite</i>                             |
| UI       | <i>User Interface</i> (Interface de Usuário)                                 |
| $\mu$    | micro  |
| V        | <i>Voltz</i>   |
| 4G       | Quarta Geração   |



## SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO</b> .....                                    | <b>11</b> |
| 1.1 Definição do Problema .....                              | 13        |
| 1.2 Delimitação do Estudo.....                               | 14        |
| 1.3 Objetivo.....  | 14        |
| 1.3.1 Objetivo Geral.....                                    | 14        |
| 1.3.2 Objetivos Específicos .....                            | 14        |
| 1.4 Justificativa .....                                      | 15        |
| <b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....                         | <b>16</b> |
| 2.1 Criação de Aves .....                                    | 16        |
| 2.1.1 Sistema <i>Dark House</i> .....                        | 17        |
| 2.1.1.1 Iluminação Artificial .....                          | 18        |
| 2.1.1.2 Sistema de Ventilação (Pressão Negativa) .....       | 19        |
| 2.1.1.3 Custos e Investimentos .....                         | 20        |
| 2.2 Sistema de transmissão sem fio.....                      | 21        |
| 2.2.1 Espelhamento Espectral ( <i>Spread Spectrum</i> )..... | 23        |
| 2.2.2 Comunicação <i>LoRa</i> .....                          | 23        |
| 2.2.2.1 Arquitetura de Rede <i>LoRaWAN</i> .....             | 25        |
| 2.3 Microcontrolador.....                                    | 27        |
| 2.4 Sensores.....  | 29        |
| 2.4.1 Sensor Analógico .....                                 | 29        |
| 2.4.2 Sensor Digital.....                                    | 30        |
| 2.4.2.1 Sensor Ultrassônico .....                            | 31        |
| 2.4.2.1 Sensor Temperatura e Umidade .....                   | 31        |
| 2.4.2.1 Sensor de Efeito <i>Hall</i> .....                   | 31        |
| 2.5 Ferramentas <i>Mobile</i> .....                          | 32        |
| 2.5.1 Formatação <i>JSON</i> .....                           | 32        |
| 2.5.2 <i>Firebase Realtime Database</i> .....                | 33        |
| 2.5.3 <i>Framework</i> .....                                 | 34        |
| 2.5.3.1 Desenvolvimento <i>Mobile Flutter</i> .....          | 34        |

|          |                                       |           |
|----------|---------------------------------------|-----------|
| <b>3</b> | <b>DESENVOLVIMENTO</b>                | <b>36</b> |
| 3.1      | Visão geral do sistema                | 36        |
| 3.2      | <i>Endpoint's</i>                     | 39        |
| 3.2.1    | Microncontrolador <i>Attiny85</i>     | 40        |
| 3.2.2    | Módulo <i>LoRa E32</i>                | 41        |
| 3.2.2.1  | <i>Antenas</i>                        | 42        |
| 3.2.3    | Sensores Digitais e Analógicos        | 43        |
| 3.2.3.1  | Sensor de Temperatura e Umidade DHT11 | 43        |
| 3.2.3.2  | Sensor analógico LDR                  | 44        |
| 3.3      | <i>Gateway</i>                        | 45        |
| 3.3.1    | <i>NodeMCU ESP32</i>                  | 46        |
| 3.4      | Protocolo de comunicação              | 47        |
| 3.5      | Cálculo da vida útil da bateria       | 48        |
| 3.6      | Custo do projeto                      | 51        |
| <b>4</b> | <b>RESULTADOS</b>                     | <b>52</b> |
| 4.1      | Arquitetura – Versão Inicial          | 54        |
| 4.2      | Arquitetura – Versão Atual            | 54        |
| 4.3      | Testes em campo                       | 56        |
| 4.4      | Banco de dados                        | 56        |
| 4.5      | Aplicativo <i>LoRa Monitor</i>        | 57        |
| <b>5</b> | <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>           | <b>59</b> |
| <b>6</b> | <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>     | <b>61</b> |

# 1 INTRODUÇÃO

No atual cenário mundial, uma a cada nove pessoas no mundo (ou cerca de 820 milhões de pessoas) não tem comida suficiente para levar uma vida minimamente saudável, de acordo com a Organização das Nações Unidas do Brasil (ONU, 2020). As projeções de um crescimento populacional, do aumento do consumo *per capita*, da expansão acelerada das cidades e das restrições no uso de terra nas próximas décadas fazem cada vez mais presente o debate sobre uma possível incapacidade de atender às necessidades humanas por alimentos (SAAHT; FACHINELLO, 2018).

Em 2019, a ONU apontou em um relatório um crescimento populacional de aproximadamente 2 bilhões de pessoas nos próximos 30 anos, passando os atuais 7,7 bilhões de indivíduos para 9,7 bilhões em 2050. Esse crescimento populacional deverá ser respondido principalmente pelos países como Índia, Nigéria, Paquistão, República Democrática do Congo, Etiópia, Tanzânia, Indonésia, Egito e Estados Unidos (em ordem decrescente de aumento esperado). Como exemplo, estima-se que em 2027 a Índia irá superar a China como o país mais populoso do mundo.

Além desta expansão populacional, a concentração nas cidades e o crescimento da renda deverão ampliar a demanda por alimentos. Porém, pelo lado da oferta, o crescimento da fronteira agrícola é bastante restrito. De acordo com a FAO (2013), a disponibilidade de áreas agrícolas está concentrada em poucos países, cerca de 90 % presentes na África e na América Latina. Além do mais, países como EUA e China não possuem mais novas áreas para a exploração agrícola.

Na América Latina, o Brasil encontra-se como um importante produtor mundial de alimentos e com grande potencial de expansão da oferta, devido a sua localização e um clima favorável para o sucesso da agricultura e pecuária, além da incorporação crescente da tecnologia, fator este que alavancou significativamente a produtividade no país (BAYER, 2019).

Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa, 2018), o Brasil é o maior exportador de frangos de corte para o mundo todo, com cerca de 3,68 milhões de toneladas ao ano, desbancando países desenvolvidos como Estados Unidos, por exemplo. O maior comprador do mercado brasileiro vem sendo a China, que somada a Hong Kong recebem cerca de 26,7 % de toda carne embarcada no período de janeiro a março de 2020, aumentando em 8,7 % as exportações de frango no Brasil, gerando uma receita de US\$ 1.514,88 milhões de dólares (MENDES, 2020).

Olhando para o cenário nacional, o Rio Grande do Sul encontra-se na 3ª posição como maior produtor de frango com 12,51 %, estando atrás somente de seus vizinhos Santa Catarina e Paraná, com 13,85 % e 31,92 % de produção, respectivamente (Embrapa, 2018). As mesmas colocações são mantidas quando se trata das exportações do Brasil. Fatores como qualidade, sanidade e preço contribuíram para um aperfeiçoamento desta produtividade no setor. Segundo Vasconcelos et.al. (2017), o Brasil buscou modernização e empregou instrumentos como o manejo adequado do aviário, alimentação balanceada, melhoramento genético e produção integrada. Dentro de um sistema produtivo é importante que o primeiro elo da cadeia desenvolva os produtos considerando todos os elos subsequentes, culminando com as demandas do consumidor final.

Com esse grande crescimento no mercado mundial de aves, observa-se a necessidade de novos estudos sobre técnicas de alojamento e ambientes de criação das aves, buscando um maior conforto, produtividade e eficiência. Como maneira de vencer as demandas do mercado e sem perder a qualidade, tem-se instaurado novas tecnologias de alojamento, como, por exemplo, o aviário do tipo *Dark House*, do inglês, “casa escura”. Este modelo de aviário consiste na produção de frango de corte em larga escala a partir da introdução de um alto nível de automatização do processo sem a necessidade direta de um operador (TORTELI; ZAGO, 2017).

Torteli e Zago (2017) apontam ainda que este sistema *Dark House* reduz a necessidade de mão de obra por conta do controle de temperatura e luminosidade de forma automática, bem como permite a maior densidade de aves por metro quadrado em melhores condições de climatização, influenciando diretamente na produtividade e eficiência.

## 1.1 Definição do Problema

Diante da atual necessidade de modernização neste setor agrícola, está surgindo um novo conceito na construção de modelos de aviário, chamado *Dark House*. Uma tecnologia mais recente em frangos de corte no Brasil, porém bastante utilizado há muito tempo em galpões de matrizes, sendo que em outros países já se utiliza esta tecnologia há vários anos para a criação de aves (GALLO, 2009).

Gallo (2009) descreve ainda que um dos maiores benefícios está relacionado com o menor gasto de energia para a manutenção das aves, disponibilizando esta energia para o crescimento, consequência esta vinda do controle da luminosidade, deixando as aves mais calmas, evitando dermatoses e permitindo uma menor conversão alimentar e melhor GPD (Ganho de Peso Diário), trazendo assim um melhor resultado zootécnico e maior retorno financeiro à empresa e produtores.

Com o isolamento das condições ambientais externas desfavoráveis, a entrada de ar por uma extremidade do aviário, passando por um sistema de resfriamento através de processo evaporativo e na exaustão controlada do ar através de exaustores posicionados nas extremidades opostas às entradas, acaba por fim refletindo em todos os parâmetros produtivos e econômicos da criação: ganho de peso, redução da mortalidade, qualidade da carcaça e no custo da criação.

Sendo assim, uma ideia de implementação surgiu diante do cenário apresentado: montar um sistema de monitoramento completo sobre um aviário *Dark House*, em que seja possível verificar as variáveis à distância, além da criação de um histórico por meios gráficos, tudo isso sendo visualizado diretamente no celular do produtor em tempo real.

## 1.2 Delimitação do Estudo

Tendo em vista o propósito desta implementação definem-se os seguintes fatores delimitantes do estudo: o projeto se restringe a área tecnológica, onde foi projetado, instalado e analisado um sistema de monitoramento de dados em um aviário de modelo *Dark House*, sendo que o período de execução ocorreu no segundo semestre de 2020 e o sistema instalado em uma propriedade rural do município de Nova Bréscia, estado do Rio Grande do Sul.

## 1.3 Objetivos

Os objetivos deste trabalho foram divididos em Geral e Específicos.

### 1.3.1 Objetivo Geral

Projetar, instalar e analisar um sistema de monitoramento de variáveis sobre um aviário de modelo *Dark House* em uma propriedade rural do município de Nova Bréscia a partir de uma tecnologia de transmissão por rádio frequência *Lora*.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Monitorar as variáveis de trabalho de um *Dark House*, como temperatura, umidade e luminosidade, por exemplo, avaliando a qualidade e precisão;
- Desenvolver *hardware* e *software* de 3 protótipos de *endpoint's*, com comunicação por radiofrequência *Lora* e alimentação via bateria;
- Calcular o custo dos *endpoint's* a partir da utilização de componentes discretos;
- Instalar todas as camadas de controle partindo dos *endpoint's*, *gateway* e interface *mobile*, baseados no método Mestre-Escravo;

## 1.4 Justificativa

Grande parte dos produtores de frango que utilizam um *Dark House*, tem interesse por um sistema de monitoramento principal e secundário por três principais motivos: alto controle e monitoramento a partir de um sistema complexo; pelo investimento altíssimo de um modelo *Dark House*, chegando na casa dos 500 mil a 1 milhão de reais; da possibilidade de perda de um lote de frango por falta de energia, ou pela presença de alguma variável não ajustada conforme os padrões (ex: temperatura excessiva), levando a morte total dos frangos em poucas horas.

A presença de um monitoramento com histórico por gráficos leva um maior controle e entendimento de como o sistema trabalha devido as mudanças repentinas, levando ao produtor um maior controle de todo o processo.

Em relação à Universidade, o estudo pode servir para outros acadêmicos que buscam conhecimento na área da Indústria 4.0 e da IoT (*Internet of Things*), pois o projeto tende a apresentar um sistema completo de aplicação em campo, interpretação e coleta de dados e conexão à rede via banco de dados em tempo real, sendo capaz de reunir todas essas informações e exibi-las em um aplicativo *mobile* desenvolvido como parte da proposta desse trabalho.

Neste capítulo foram abordados a definição dos problemas, a delimitação do estudo, os objetivos gerais e específicos, bem como a justificativa do trabalho, ou seja, a base para prosseguir com os demais tópicos do trabalho. O capítulo 2 apresenta o referencial teórico necessário para o embasamento do projeto e de suas funcionalidades. O capítulo 3 descreve o desenvolvimento do sistema, citando os detalhes de cada parte do projeto e das tecnologias implementadas em cada estágio, especificando, *hardware* e sensores escolhidos, descrição da comunicação *Lora* entre os *endpoint's* e o *gateway*, coleta e envio das informações ao banco de dados *Firebase* e aplicação *mobile* utilizando a plataforma *Flutter*. O capítulo 4, apresenta os resultados alcançados com a instalação já concluída e com o sistema em operação. No capítulo 5, as considerações finais, bem como as sugestões para trabalhos futuros na área.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este trabalho objetiva o desenvolvimento de uma solução de monitoramento remoto para um sistema de aviário *Dark House*. Para tanto, a Revisão Bibliográfica abordará conhecimentos específicos das áreas de programação de *hardware* e programação *mobile*, eletrônica, comunicação por radiofrequência e controle mestre-escravo. Primeiramente, este capítulo apresenta os conceitos de um sistema *Dark House* e os principais componentes que farão parte do sistema de monitoramento de dados.

### 2.1 Criação de Aves

Segundo Abreu (2000), a criação moderna de frangos de corte é uma atividade que envolve elevados investimentos aos produtores brasileiros. O planejamento da atividade torna-se primordial, pois o perfeito dimensionamento entre as capacidades das granjas, fábrica de ração, incubatório, frigoríficos e transporte, evita que se trabalhe com folga num seguimento e falta de espaço em outro. A otimização da utilização da capacidade de todos estes segmentos é um dos fatores de redução de custos.

Para tanto, a avicultura de corte passou por inúmeras transformações ao longo de sua história até atingir o nível atual de modernidade. Vários modelos de barracões foram implantados com intuito de minimizar os efeitos negativos dos fatores climáticos sobre o desenvolvimento das aves, principalmente em um país tropical com alta presença de umidade como o Brasil (TINÔCO, 2001).



A empresa Ageitec (2018) aponta que o aviário convencional é um dos sistemas mais utilizados e numericamente o mais importante para a produção de frango de corte, representando aproximadamente 98 % do segmento desta carne no Brasil. Sua construção simples e funcional tem a finalidade de alojar as aves propiciando um conforto e bem-estar. Recomenda-se uma construção com materiais disponíveis na região, evitando custos elevados, como por exemplo madeira rústica como o eucalipto. A direção do eixo maior do aviário deve ser leste/oeste em paralelo com a orientação do Sol (ALBINO et.al. 2013).

Albino et. al. (2013), aponta ainda que o piso normalmente é de chão batido em um terreno com uma boa drenagem. Acionadas por uma catraca manual, as cortinas laterais normalmente são de PVC, lona ou fibra trançada, protegendo as aves contra ventos e chuvas, facilitando assim o controle da temperatura interna do aviário, uma das poucas variáveis controladas neste sistema. Vale ressaltar que qualquer problema estrutural na instalação que resulte em situações inadequadas de ventilação, renovação do ar, acúmulo de gases ou altas variações térmicas podem ser consideradas fatores de risco para a criação de frangos de corte, diminuindo consideravelmente os índices de produtividade.

### **2.1.1 Sistema *Dark House***

Trazido dos Estados Unidos, um sistema *Dark House*, ao contrário do sistema convencional de aviário, controla parâmetros relevantes ao crescimento e desenvolvimento dos animais, como a temperatura, umidade, ventilação e alimentação, sendo através de painéis de comando, permitindo que se estabeleça um ambiente interno com as condições ideais para o desenvolvimento das aves. Por estar em um ambiente com temperatura amena, e com um sistema de iluminação controlada a fim de acalmar as aves, o sistema acaba permitindo assim maior densidade das aves por metro quadrado, menor conversão alimentar, redução na mortalidade e no tempo de alojamento (FERREIRA, 2017).

O rendimento maior é atribuído especialmente à diminuição do estresse e da agitação dos animais, proporcionada por uma temperatura corporal constante e períodos mais longos de baixa luminosidade. O único contato de luz é feito pela instalação de lâmpadas ao longo do galpão, que acaba estimulando os ciclos de engorda e de vida das aves. Ao mesmo tempo, exaustores controlam a temperatura e evitam gastos de energia desnecessários (MALLMANN, 2014). As tecnologias e os equipamentos necessários para a estrutura de um sistema *Dark House* serão apresentadas nas próximas seções.

### **2.1.1.1 Iluminação Artificial**

A intensidade de luz influencia diretamente no comportamento do frango. Uma iluminação mais intensa promove uma agitação e um aumento da atividade, enquanto que uma iluminação mais amena pode ser eficaz na redução de comportamentos agressivos nas aves alojadas. Para isso, existem 3 programas de luz caracterizados pela duração e distribuição do fotoperíodo classificados como constante, intermitente e crescente. Os programas de iluminação moderno iniciam com uma intensidade contínua (20 lux) na primeira semana de vida dos frangos, sendo reduzida para 5 a 14 lux até os 21 dias do lote e, a redução até os 5 lux na fase final de criação. Caso haja pouca iluminação no início do desenvolvimento e muita luz durante o período de crescimento, o desempenho será diretamente afetado (ROSA, 2014).

A instalação da iluminação deve ser em linha reta, a cada 5 metros de largura e a cada 6 metros de comprimento do aviário. O ideal é ter uma chave individual a cada 3 lâmpadas para que o sistema se torne mais econômico até que toda área do galpão esteja disponível e ocupada pelas aves. Deverá ser instalado um *dimmer* com potenciômetro que permite a regulagem da intensidade luminosa juntamente com uma rampa de retardo, na qual permite regular o tempo até que seja atingida a intensidade de luz desejada, evitando um choque de luminosidade sobre as aves. Conforme a Figura 1, o uso de pelo menos três divisórias no galpão é obrigatório, evitando a migração das aves em função da luminosidade e da procura por melhor ambiência causando má distribuição dos animais e na perda do desempenho (GALLO, 2009).

Figura 1 - Sistema de iluminação e divisórias.



Fonte: Autor, 2020.

### 2.1.1.2 Sistema de ventilação (Pressão Negativa)

O sistema de ventilação em túnel é representado por exaustores instalados nas laterais do aviário, restringindo assim a passagem de luz externa, arrastando calor, umidade e gases, controlando a temperatura que não deve exceder os 30 °C. Devem ser dimensionados em quantidade suficiente para fornecerem até 3 m/s de velocidade de ar em momentos de calor extremo quando as aves se encontram na fase adulta (GALLO, 2009). Um exemplo deste sistema pode ser visto na Figura 2.

Figura 2 - Sistema de ventilação em túnel nas laterais do galpão.



Fonte: Adaptado de COLUSSI, 2014.

Pela outra extremidade, as entradas de ar também devem seguir o mesmo modelo de instalação lateral, providas de painel evaporativo com gotejamento de água, a fim de reduzir a temperatura do ar na entrada do galpão. Elas devem ser dimensionadas de acordo com a velocidade de ar requerida para não causar restrição de ventilação e consequentemente aumento da pressão (GALLO, 2009).

A vedação também acaba sendo uma parte fundamental para que a ventilação em túnel funcione de forma que o aquecimento seja eficiente e sem perdas. Todas as entradas de ar devem ser completamente vedadas e as cortinas laterais e a forração devem ser laminadas, garantindo uma montagem precisa para que não fiquem frestas (GALLO, 2009).

### 2.1.1.3 Custos e Investimentos

Uma das principais vantagens na criação de aves em um *Dark House* está associada ao carregamento de frangos com menores danos. Por possuir um controle

da luminosidade dentro do aviário, é possível carregar os frangos praticamente no escuro, evitando, amontoamento, arranhões e a mortalidade. Vale ressaltar que a maior vantagem em relação ao aviário convencional consiste na menor conversão alimentar e na menor condenação no abatedouro por dermatoses provocadas por arranhões (VIEIRA et.al. 2018).

Esta conversão alimentar é calculada a partir da divisão do consumo de ração pelo ganho de peso. Na avicultura, o cálculo se baseia na quantidade de ração consumida pelo lote, pelo seu peso, subtraindo, ou não, o peso no momento de alojamento (FLAVIANA, 2015).

Com base em investimentos, os agricultores utilizam construções modais para os seus projetos, onde cada modal conta com quatro *Dark Houses*, com uma estrutura de aproximadamente 150 metros de comprimento e 16 metros de largura, podendo alojar, no mínimo, 45 mil frangos para cada aviário. Este conjunto representa cerca de R\$ 3,5 milhões de reais por modal (agosto de 2016). Normalmente o formato de alojamento é do tipo de corte, onde o produtor recebe os filhotes de aves com um dia de vida e cuida da alimentação dos animais por um mês até a fase adulta quando alcança o 1,5 kg de peso (ASCOM, 2016).

Segundo a ASCOM (2016), como exemplo, os agricultores da Região dos Vales no Rio Grande do Sul têm como parceiro a Brasil Foods (BRF), localizada em Lajeado, onde ocorre o abate do animal e a transformação em produtos de prateleira para o mercado nacional e internacional. Com essa parceria, o produtor custeia o financiamento viabilizado pela empresa integradora e fica responsável por oferecer a maravalha, cavaco, energia elétrica e a mão de obra, enquanto a BRF fica responsável por fornecer as aves, a ração e a assistência técnica necessária.

## **2.2 Sistema de transmissão sem fio**

O sistema de transmissão sem fio envolve 3 principais elementos: transmissor (origem), canal (meio) e o receptor (destino). A transmissão de informações de equipamentos eletrônicos, como aparelhos celulares, por exemplo, é feita pela

propagação de ondas eletromagnéticas por um meio, seja este o espaço, conhecidas como ondas de rádio (SEAL TECHNOLOGIES, 2003).

Ainda conforme SEAL (2003), na transmissão de rádio, o sinal necessita ser modulado, amplificado e enviado por uma antena a uma determinada faixa de frequência. A modulação consiste num processamento, na qual a onda portadora é gerada, e tem um de seus parâmetros alterados em função da informação que se deseja transmitir, que pode ser a amplitude, fase e frequência da onda.

A capacidade de transmissão entre dois meios de comunicação depende diretamente da sua frequência de operação. As diversas frequências disponíveis estão dispostas em faixas, ou também conhecidas como bandas de frequências. Quanto maior for o volume de informações a ser transmitido, maior deverá ser a largura de banda alocada (SEAL TECHNOLOGIES, 2003).

SEAL (2013) completa ainda que com essa demanda excessiva de meios de comunicação sem fio, foi necessário estabelecer acordos nacionais e internacionais de padronização para a alocação das frequências. Com isso, foram estabelecidas regulamentações sobre a alocação do espectro de frequências. Em âmbito mundial, quem regulariza o espectro de frequências é o ITU (*Internacional Telecommunication Union*). No Brasil, a Anatel (Agência Nacional de Telecomunicações) representa a entidade responsável pela definição e fiscalização da utilização das faixas de frequências no território nacional.

Segundo documento oficial da Anatel (2017), o plano de atribuição, destinação e distribuição de frequências no Brasil está voltado de forma não licenciada há aplicações com Radioamadores, Radiolocalização, Móvel (exceto móvel aeronáutico) e Fixo, para uma faixa de 915 Mhz.

Segundo TELECO (2020), com o intuito de evitar a sobrecarga de solicitações de licença nos órgãos reguladores, bem como simplificar a utilização de RF (Rádio Frequência) por aplicações específicas, criou-se a forma de uso não-licenciado do espectro. Assim, equipamentos de radiação restrita dispensam a necessidade de autorização pela baixa potência empregada, não causando interferência em outros sistemas de rádio frequência.

### 2.2.1 Espelhamento Espectral (*Spread Spectrum*)

O espelhamento espectral é uma tecnologia na qual a energia média do sinal transmitido é espalhada sobre uma largura de faixa de frequência muito maior do que a largura de faixa que contém a informação. Trata-se especialmente de uma técnica de codificação para transmissão digital de sinais desenvolvida originalmente para utilização militar, com o objetivo de transformar a informação transmitida em um sinal semelhante a um ruído, evitando monitoração pelos adversários (TELECO, 2020).

Segundo o autor, a técnica consiste em codificar e modificar o sinal executando seu espelhamento no espectro de RF, viabilizando uma transmissão de dados via rádio com alta confiabilidade e com taxas de transmissões cada vez maiores. O emprego desta técnica justifica especialmente para aplicações de uso não-licenciado do espectro, uma vez que as faixas utilizadas apresentam grande quantidade de sinais interferentes.

### 2.2.2 Comunicação *LoRa*

*LoRa* (do inglês - *Long Range*: Longo Alcance), é uma tecnologia de rede de comunicação sem fio criada pela *Semtech Corporation* e promovida através da *LoRa Alliance*, uma associação aberta e sem fins lucrativos, da qual fazem parte grandes companhias ao redor do mundo, nas quais possuem interesses no desenvolvimento e na aplicação da rede *LoRa* na Internet das Coisas (IoT - *Internet of Things*) (TEIXEIRA; ALMEIDA, 2017).

A criação desta aliança foi iniciada pelos líderes industriais do mercado da tecnologia destacando as áreas da tecnologia da informação, automação industrial, telecomunicações, entre outras, que tem como missão padronizar as redes de comunicação de grandes áreas e baixa potência LPWAN (*Low Power Wide Area Network*) para implantar as tecnologias da Internet das Coisas em cidades inteligentes e aplicações industriais em todos os países (TEIXEIRA; ALMEIDA, 2017).

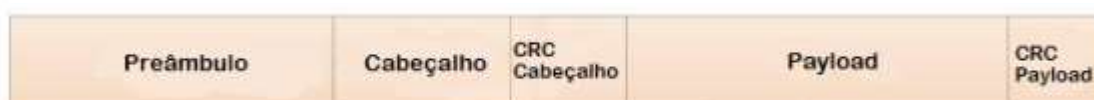
A *Semtech* (2020) explica que o *LoRa* é uma tecnologia por rádio frequência que permite a comunicação e transmissão de dados por longas distâncias com o

consumo mínimo de energia. Sua técnica de modulação de espectro de dispersão é derivada da tecnologia *Spread Spectrum*, gerando maior segurança e confiabilidade aos dados transmitidos. Os dispositivos *LoRa* possuem papel importante na resolução de problemas como gerenciamento de energia, redução de recursos naturais, controle de poluição, eficiência de infraestrutura, prevenção de desastres naturais, etc. Existem casos conhecidos de aplicação voltados especialmente para as cidades inteligentes, casas e edifícios inteligentes, agricultura, medição, assim como a cadeia de suprimentos e a logística. Dentre seus principais recursos podem-se destacar:

- Conexão com dispositivos em até 48 km de distância em áreas rurais em campo aberto;
- Energia mínima, com uma vida útil da bateria prolongada em até 10 anos;
- Apresenta criptografia *AES128*<sup>1</sup> de ponta a ponta com autenticação mútua, proteção de integridade e confidencialidade;
- Permite aplicativos de rastreamento por GPS, mantendo a comunicação com dispositivos em movimento sem sobrecarregar o consumo de energia;

A modulação LoRa pode ser utilizada para o envio de dados de forma customizada, porém a *Semtech* especificou um formato definido para facilitar a conexão entre transmissores e receptores, conforme a Figura 3.

Figura 3 - Formato da mensagem transmitida.



Fonte: Adaptado de *Semtech*, 2016.

<sup>1</sup> O *Advanced Encryption Standard* (AES) é uma cifra de bloco simétrica escolhida pelo governo dos EUA para proteger informações classificadas. O AES128 usa um comprimento de chave de 128 *bits* para criptografar e descriptografar um bloco de mensagens. Quanto maior o comprimento da chave, maior será o nível confidencial da informação, disponível também em 196, e 256 *bits* (ROUSE, 2020).



O preâmbulo tem a função de sincronizar o receptor durante a chegada de dados. Em seguida, tem-se o cabeçalho, que dependerá do modo (explícito ou implícito) escolhido:

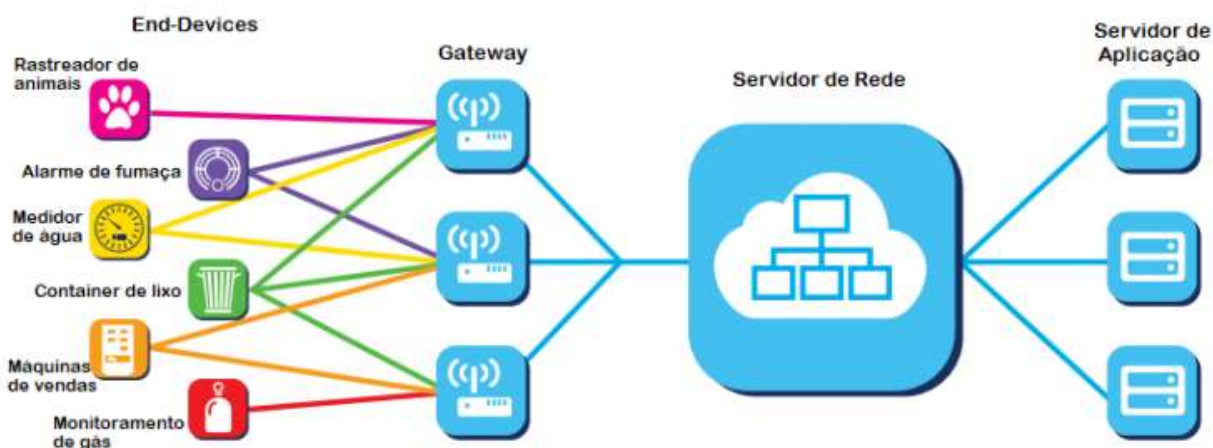
- Explícito: É o modo padrão de operação do cabeçalho, fornecendo informações sobre o tamanho da mensagem de dados, o CR e CRC (*Cyclic Redundancy Check* – verificação cíclica de redundância) do *payload*, além de detectar possíveis cabeçalhos falsos;
- Implícito: Neste modo o cabeçalho fica ausente para reduzir o tempo de transmissão quando os dados, a taxa de codificação e CRC são conhecidos e fixos;

Por fim, o *payload* é o campo destinado aos dados codificados, sendo uma mensagem de tamanho variável de 2 a 255 bytes (MEDEIROS, 2018).

### 2.2.2.1 Arquitetura de Rede LoRaWAN

A arquitetura de rede apresentada pela *LoRa Alliance* (2015) é ilustrada na Figura 4. Sua topologia é do tipo estrela, cuja característica é de possuir diversos dispositivos conectados a um *gateway* que recebe e manipula todas as informações recebidas.

Figura 4 - Arquitetura de Rede LoRaWAN.



Fonte: Adaptado de *LoRa Alliance*, 2015.

Podem-se destacar os dispositivos finais (módulos), conhecidos como *End-Devices*, ou *End-Nodes* ou ainda *End-Points*, que são sensores ou atuadores que utilizam a tecnologia *LoRa* para se comunicarem aos servidores de rede por meio dos *gateways*, com comunicação bidirecional (transmite e recebe dados), possuindo diversas aplicações e requisitos de acordo com o projeto (*LoRa Alliance*, 2015).

Ainda segundo a *LoRa Alliance* (2015), o *gateway* forma a ponte necessária para interconectar os *End-Points* aos servidores de rede. Um *gateway* irá receber a informação de diversos dispositivos finais assim como também um *gateway* pode receber dados de apenas um único *End-Point*. Já os servidores de rede são responsáveis por fazer o gerenciamento e filtragem dos pacotes de informações redundantes, checando a segurança dos dados vindas do *gateway*, e armazenando as informações de forma confidencial e organizada. Por fim, os pacotes de dados gerenciados pelos servidores podem ter uma destinação específica, como os serviços de aplicação, por exemplo, ligado diretamente ao usuário final que interage com as informações demonstradas pelo servidor ou para o setor de logística da empresa que controla toda a rede a distância.

Em aplicações reais, a arquitetura *LoRaWAN* junto da tecnologia de comunicação *LoRa* puderam proporcionar experiências satisfatórias para projetistas que implementaram este modelo de sistema.

Segundo Leandro Laporta (2018), Diretor de Arquitetura de Soluções e Parcerias para a América Latina, a empresa *Orange Business Services* implementou para o torneio de tênis de *Roland Garros*, diversas redes para 4G e conexão IoT. Neste último caso, foi utilizada a tecnologia *LoRa*, que teve o papel de melhorar a experiência dos torcedores. Sensores foram instalados em tapetes nas entradas das quadras possibilitando aos organizadores do evento entender melhor o fluxo de visitantes em tempo real, número de pessoas em cada uma das 17 quadras e disponibilidade de assentos para acomodar as pessoas. O diretor aponta ainda outros exemplos, como uma grande companhia norte-americana que utilizou a rede *LoRa* para monitorar seus bens como empilhadeiras e caminhões dentro e fora de seus mais de 5km de túneis, pelos quais faz transporte de material.

### 2.3 Microcontrolador

O microcontrolador representa um circuito integrado e encapsulado o qual possui internamente, uma unidade lógica e aritmética, periféricos de entradas e saídas, temporizadores, memórias, contadores, comunicação, conversores analógicos digitais, além de diversas outras características dependendo do modelo, fabricante e necessidade do projeto. Tem como principal objetivo controlar um processo complexo de forma lógica a partir da execução de tarefas denominadas instruções com extrema rapidez e precisão (PENIDO; TRINDADE, 2013).

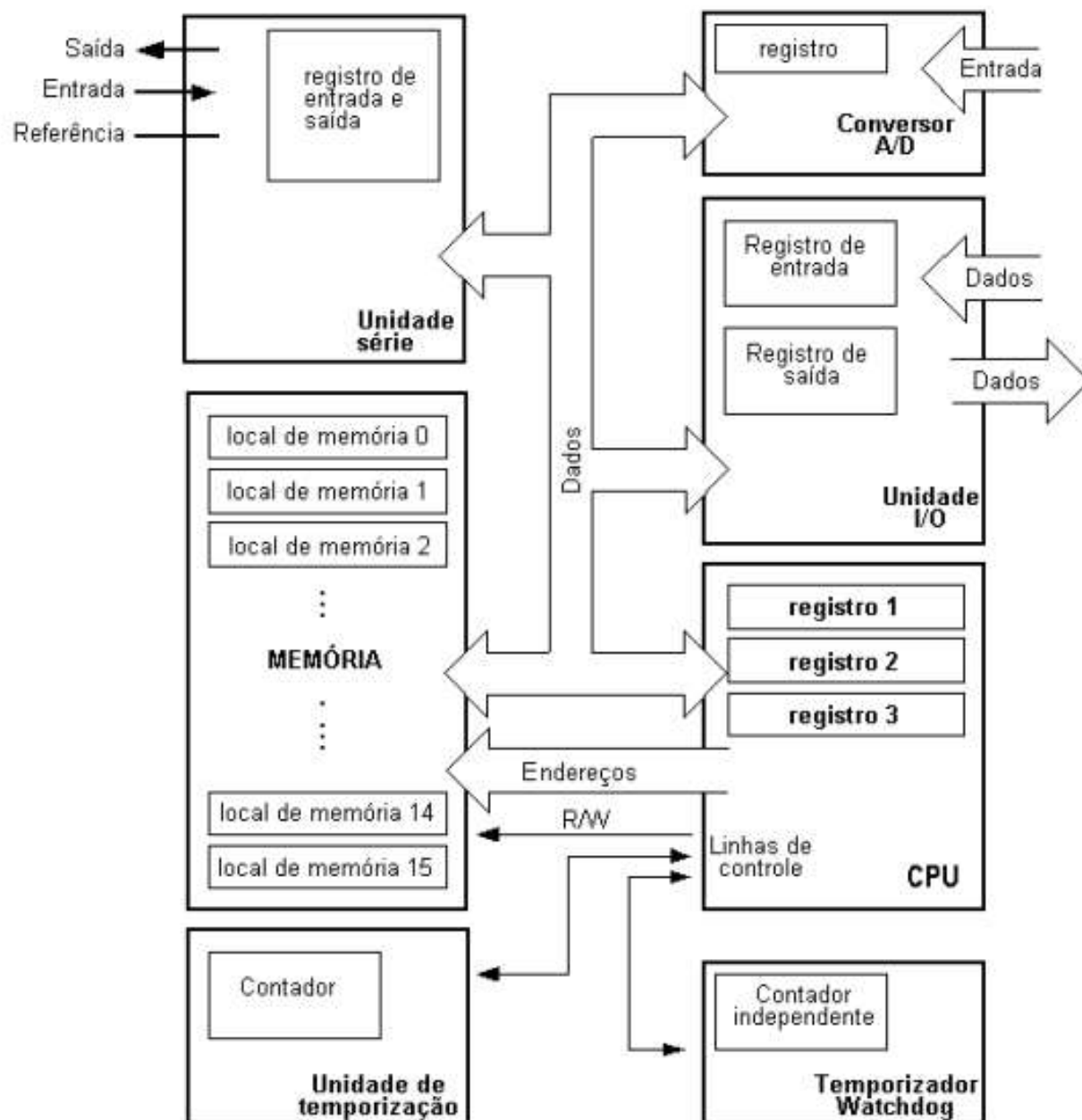
Uma de suas principais vantagens está agregada na diminuição e complexidade dos circuitos eletrônicos, facilitando a manutenção e gerenciamento de tarefas internas de aparelhos eletrônicos, seja este de pequeno, médio ou grande porte (NETO; MONTEIRO; QUEIROGA, 2012). Outra grande vantagem deste circuito integrado é a sua possibilidade de programação, o que o torna adaptável à finalidade desejada, possibilitando seu ajuste de acordo com a tarefa que deverá executar (ASSIS, 2004).

Assis (2004) explica ainda os diversos periféricos que formam um microcontrolador. Uma das partes é a memória, cuja função é armazenar e guardar dados de forma volátil ou não-volátil. Já a unidade central de processamento (CPU) trabalha com registros que são locais de memória com o papel de ajudar na execução de tarefas como operações matemáticas, por exemplo. Essa memória e a CPU são conectadas pelo BUS (barramento) de endereço e o BUS de dados. Pelo lado externo, um bloco que localiza o BUS as linhas de saídas do microcontrolador são chamadas de *Port's*, podendo ser tanto de entrada como de saída.

Complementando a arquitetura interna do microcontrolador, pode-se citar a unidade de comunicação em série (envio e recebimento de dados simultâneos), a unidade de temporização, de *watchdog* e conversores analógicos/digitais para se trabalhar com diversos sensores do mercado (ASSIS, 2004).

A Figura 5 representa a interconexão dos periféricos principais de um microcontrolador.

Figura 5 - Arquitetura interna das ligações de um microcontrolador.



Fonte: Adaptado de ASSIS, 2004.

## 2.4 Sensores

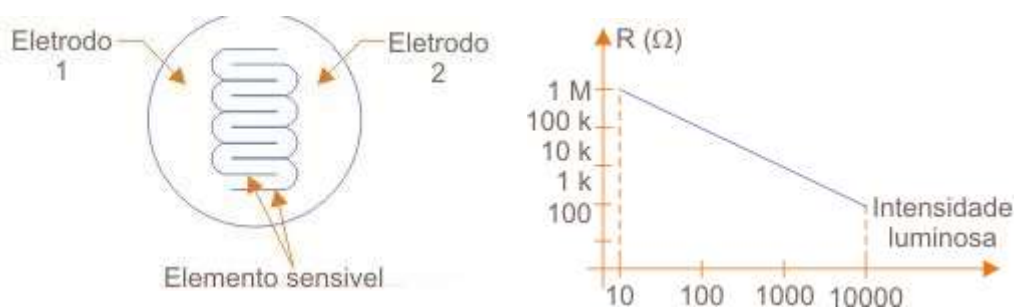
Segundo Wendling (2010), sensor é um termo empregado para designar componentes sensíveis à alguma forma de energia do ambiente que pode ser luminosa, térmica, cinética, etc., relacionando informações sobre uma grandeza física que necessita ser mensurada (medida) como: temperatura, pressão, velocidade, corrente, distância, aceleração, posição, entre outras.

O autor comenta ainda que este dispositivo nem sempre tem as características elétricas necessárias para ser utilizada em um sistema de controle. Normalmente o sinal deve passar por uma manipulação inicial antes que a leitura seja enviada para um microcontrolador, realizada normalmente por um circuito de interface de comparação e amplificação de um sinal que possa ser lido de forma precisa e confiável. Dentro deste campo, pode-se dividir o modelo de sensores em 2 campos principais:

### 2.4.1 Sensor Analógico

Este modelo de sensor pode assumir qualquer valor em seu sinal de saída ao longo do tempo, desde que esteja dentro da sua faixa de operação. Algumas grandezas podem assumir qualquer valor como: temperatura, pressão, umidade, vazão, força, entre outras. Essas variáveis são mensuradas e convertidas de forma proporcional sobre a diferença de potencial alimentada pelo sensor. Um exemplo de sensor analógico pode ser visto na Figura 6:

Figura 6 - Sensor analógico *LDR (Light Dependent Resistor)*.



Fonte: Autor, 2020.

Conforme Braga, os sensores *LDRs* (*Light Dependent Resistor*) são resistores sensíveis a intensidade luminosa, apresentando uma resistência ao circuito elétrico muito alta no escuro, chegando na ordem de muitos mega  $\Omega$  (*ohms*), se reduzindo a algumas dezenas ou centenas de  $\Omega$  quando é iluminado diretamente, conforme aponta a Figura 6.

A superfície sensível deste componente é formada por uma substância denominada Arsenieto de Gálio (GaAs) a qual apresenta a propriedade de alterar a sua resistência em função da luz incidente. Quando os fótons (partículas de luz) atingem o material, conseguem por sua vez liberar elétrons do componente aumentando ou diminuindo sua resistividade. Com maior quantidade de elétrons livres o material apresentará menor resistência e vice-versa. Essa variação é obtida com diferentes graus de iluminação e a corrente máxima que o componente possa suportar, dependendo diretamente da superfície de contato com os eletrodos do material, e também da área exposta à luz. Sendo assim, o *LDR*, conforme a Figura 6 anterior, demonstra a utilização de dois eletrodos em forma de “pente” que se interpenetram obtendo-se com isso uma grande superfície de contato com o material fotossensível, afirma Braga.

#### 2.4.2 Sensor Digital

Este modelo de sensor pode assumir apenas dois valores no seu sinal de saída ao longo do tempo, que podem ser interpretados como sendo 0 ou 1. Não há naturalmente grandezas físicas atuantes que assumem estes valores, mas eles podem ser assim mostrados ao sistema de controle convertidos pelo circuito eletrônico do transdutor<sup>2</sup>. Sua utilização passa por detecção de objetos, *encoders*<sup>3</sup> na determinação de distância e velocidade, por exemplo.

---

<sup>2</sup> Transdutor é um aparelho que converte um sinal de uma forma física em outra correspondente. No transdutor, uma quantidade de entrada é diferente da quantidade de saída. Sinais típicos de entrada podem ser de caráter elétrico, mecânico, térmico ou óptico, por exemplo (NUNES et. al. 2017).

<sup>3</sup> *Encoder* é um sensor eletromecânico cuja funcionalidade é transformar a posição do eixo de um motor em um sinal elétrico digital (ALTUS, 2019)

### 2.4.2.1 Sensor Ultrassônico

Seguindo os mesmos princípios do sonar dos morcegos, o sistema ultrassônico tem como princípio de funcionamento a emissão de uma onda sonora na casa dos 40 kHz de frequência. Essa onda por sua vez é emitida e refletida pelo objeto presente em sua frente resultando em um eco de resposta, na qual é convertido em sinais elétricos. A detecção desse eco vai depender exclusivamente da intensidade da onda sonora e da distância entre o sensor e o objeto (BALLUFF, 2018).

### 2.4.2.2 Sensor Temperatura e Umidade

Segundo IOPE (2020), este sensor digital conta com dois circuitos internos. O sensor de umidade é capacitivo, sua constante dielétrica varia conforme a umidade relativa do ar, enquanto que o sensor de temperatura é um termistor NTC, isto é, um resistor sensível as variações de temperatura. Em seu encapsulamento existe um microcontrolador que faz as medições e transmite os valores em um formato digital através de um pino de saída externa do sensor com um nível de precisão conforme a qualidade do produto. Sua precisão pode variar 5 % tanto para umidade como para temperatura, com um *range* de medição entre 20 % a 80 % para a umidade e 0 °C a 50 °C para a temperatura.

### 2.4.2.3 Sensor de Efeito *Hall*

O sensor de efeito *Hall* é caracterizado pelo efeito do resultado da força de Lorentz no movimento de elétrons sujeitos a um campo magnético. Quando na presença de um fluxo de corrente em um material que não está exposto a um campo magnético, as linhas equipotenciais que cruzam perpendicularmente este fluxo, são linhas retas. Agora quando este mesmo fluxo está sujeito a um material com um campo magnético perpendicular, o seu ângulo *Hall* é alterado e as linhas equipotenciais acabam sendo inclinadas, e isso resulta em uma tensão de *Hall* medida ao longo do material (CASSIOLATO, 2003).

## 2.5 Ferramentas *Mobile*

Para a criação e desenvolvimento de um projeto *mobile* (aplicativo para celulares), é importante levar em consideração todos os periféricos que serão necessários para atender a demanda lógica do sistema, como por exemplo, um banco de dados para salvar conteúdos importantes, conexão com servidores externos para alimentar o aplicativo com informações necessárias, integralidade com demais *softwares* de compartilhamento, acesso à *internet* ou comunicação *bluetooth*, assim como a plataforma necessária para a construção e depuração do aplicativo, seja ele para *Android*, *iOs*, ou multiplataforma.

### 2.5.1 Formatação *JSON*

O *JSON* (*JavaScript Object Notation*) consiste em um formato de intercâmbio de dados aberto baseado em texto baseada em pares de valores-chave e listas ordenadas que fornece uma troca padronizadas de informações entre sistemas. A Figura 7 apresenta um exemplo de formatação *JSON*.

Figura 7 - Exemplo de formatação *JSON*.

```
{
  "firstName": "Jonathan",
  "lastName": "Freeman",
  "loginCount": 4,
  "isWriter": true,
  "worksWith": ["Spantree Technology Group", "InfoWorld"],
  "pets": [
    {
      "name": "Lilly",
      "type": "Raccoon"
    }
  ]
}
```

Fonte: Adaptado de Freeman, 2019.



A estrutura de exemplo na Figura 7 define os atributos de uma pessoa. Este formato recebe parâmetros de valores do tipo *string*, *int*, *bool*, listas, objetos e nulos. Essa estrutura no futuro poderá passar para um servidor *web* ou aplicação *mobile*, executando ações como exibir os dados ou salvá-los (FREEMAN, 2019).

### 2.5.2 *Firestore Realtime Database*

O *Firestore* é uma plataforma da Google que contém diversas ferramentas com uma excelente infraestrutura para auxiliar desenvolvedores *web* e *mobile* a criar aplicações de alta complexidade com uma ótima qualidade e desempenho. Uma de suas ferramentas principais é o *Realtime Database*, do inglês, um banco de dados em tempo real, onde é possível armazenar os dados como JSON e sincronizá-los na nuvem (FIREBASE, 2019).

A empresa descreve que com este banco de dados é possível criar aplicativos avançados e colaborativos, ao conceder acesso seguro diretamente ao código do usuário. Os dados do banco são mantidos localmente e, mesmo estando *off-line*, os eventos em tempo real continuam sendo acionados, proporcionando uma experiência responsiva ao usuário final. Quando o dispositivo recupera a conexão com a *internet*, o *Realtime Database* sincroniza novamente as alterações feitas nos dados locais com as atualizações remotas que ocorreram enquanto o usuário estava *off-line*, evitando automaticamente qualquer conflito.

O *Realtime Database* fornece ainda uma linguagem de regras flexíveis baseadas em expressão, denominadas regras de segurança, definindo como os dados serão estruturados e quando podem ser lidos e gravados. Por meio da integração com o *Firestore Authentication*, os desenvolvedores podem definir quem poderá ter acesso, a quais dados e como esses dados podem ser acessados pelos clientes.

### 2.5.3 *Framework*

Um *framework*, de modo geral, é um modelo de códigos para uma função específica necessária ao desenvolvimento de outros *softwares*, ou seja, uma ferramenta que une códigos comuns e diversas bibliotecas para que o desenvolvedor não necessite programar um código novo para funções que já existem. São funcionalidades prontas aos programadores, que servem de base para a criação de novos projetos, gerando maior produtividade e eficiência ao economizar tempo e cortar custos (GAEA, 2019).

#### 2.5.3.1 *Desenvolvimento Mobile Flutter*

Desenvolvido pela Google em 2017, o *framework* multiplataforma conhecido como *Flutter* é um *Software Development Kit* (SDK) para desenvolvimento *mobile*, capaz de criar aplicativos tanto para *Android* e *iOS* com apenas um único código através da linguagem *Dart*, sendo muito similar a *C#* e *Java*, compilando código nativo para *ARM* e *x86* (FLUTTER, 2019).

Diferente do *React Native* que possui um intermediário entre a *User Interface*<sup>4</sup> (UI) e o dispositivo, o *Flutter* fica na camada do UI e não chama os componentes nativos, sendo desenhado diretamente em um *canvas* que aumenta o desempenho e fluidez a nível de um aplicativo criado exclusivamente para aplicação nativa (SANTANA, 2019).

---

<sup>4</sup> *User Interface (UI)*, do inglês, um *design* da interface do usuário, é um processo de criação de interfaces em *software* ou dispositivos computadorizados, com foco na aparência ou no estilo, permitindo uma experiência prazerosa e de fácil manuseio pelos usuários (FOUNDATION).

O autor descreve ainda que este SDK é capaz de criar interfaces personalizadas, animações, com uma facilidade para acessar os recursos do aparelho, como geolocalização e galeria, por exemplo, conforme a Figura 8 abaixo.

Figura 8 - Telas visualmente agradáveis construídas com *Flutter*.



Fonte: Adaptado de *FIVERR*, 2020.

O *Flutter* tem como objetivo fornecer uma estrutura e ferramentas para criar experiências de usuário sem comprometer nenhum dispositivo ou fator de forma. Este mecanismo oferece um desenvolvimento rápido com recarga a quente (atualização em milissegundos) com estado e desempenho rápido na produção com compilação nativa, podendo estar em execução tanto para aplicações *mobile*, como também para *web* e *desktop* (*FLUTTER*, 2019).

O seu fluxo de desenvolvimento é orientado ao *design* e aos *widgets*, que são blocos de interface de usuário de um aplicativo *Flutter*, sendo capaz de definir elementos estruturais (botões, menus...), elementos de estilo (fontes, cores...), aspectos de *layouts* (margens, espaçamentos...), além de *widgets* com *design* específico para a plataforma *Android* (*Material Components*) e *iOS* (*Cupertino*). Os *widgets* formam uma hierarquia no formato árvore, onde cada composição de *widgets* irá herdar as propriedades do *widget* superior, ou *widget* pai, como é comumente chamado na comunidade *Flutter* (*CORAZZA*, 2018).

## 3 DESENVOLVIMENTO

Este trabalho teve como finalidade o desenvolvimento e instalação de um sistema de monitoramento de dados utilizando a comunicação por radiofrequência *LoRa*, em um aviário de modelo *Dark House* localizado no interior do município de Nova Bréscia/RS. O aviário pertence à família Betti em Linha Olinda, onde possuem mais de sete *Dark Houses* em sua totalidade, investimento que chegou na casa dos oito milhões de reais. A intenção da família é instalar em breve mais quatro aviários, se tornando um dos maiores produtores de frango de corte da América Latina. Os frangos produzidos pela família vão direto para os Emirados Árabes, fator este que dá mais importância ainda no segmento e qualidade de todo o processo de produção.

### 3.1 Visão geral do sistema

O sistema desenvolvido contempla um conjunto de três dispositivos *endpoint's* que monitoram variáveis do aviário *Dark House* (temperatura, umidade e luminosidade), comunicando-se via *LoRa* com um *gateway* instalado nas proximidades do *Dark House*, o qual envia as informações para um banco de dados *Firebase* via *WiFi*. As informações podem ser acessadas em tempo real pelo produtor no seu *smartphone*, através de uma aplicação *mobile* desenvolvida em *Flutter*.

A Figura 9 apresenta um diagrama do sistema implementado, identificando os componentes desenvolvidos, os quais são descritos a seguir.

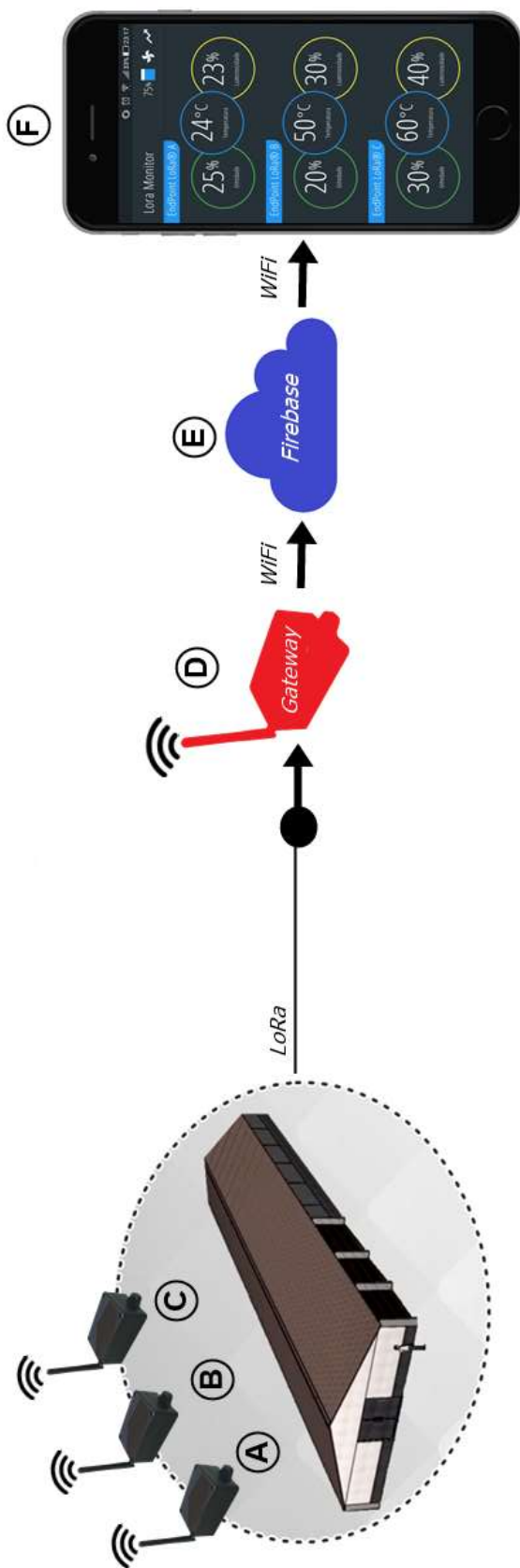


Figura 9 - Arquitetura do projeto com os diversos níveis de comunicação.

Fonte: Autor, 2020.

A captação de dados das variáveis dentro do aviário foi implementada através de três *endpoint's* instalados no interior do *Dark House* (Itens A,B e C na Figura 9), dispostos proporcionalmente ao longo do seu extenso comprimento, constituídos por um microcontrolador, bateria de *lithium*, controlador de carga para a bateria, rádio *LoRa* e sensores, além de componentes discretos que incrementam o circuito elétrico interno.

O *gateway* (Item D na Figura 9) obtém um pacote de informações referentes aos sensores dos *endpoint's*, a partir do recebimento de dados pela comunicação sem fio *LoRa* incrementada tanto nos *endpoint's* como no *gateway*. Esses dados posteriormente são analisados e enviados para o banco de dados já em um formato específico, declarando qual *endpoint* enviou os dados, e qual o dia da semana e o horário do envio. O *gateway* está instalado em uma sala centralizada do lado externo do aviário onde estão dispostos os painéis elétricos que comandam o *Dark House*, em conjunto com um roteador *Wifi* com acesso à internet. A distância do *gateway* em relação aos *endpoint's* é de aproximadamente 100 metros para os dispositivos A e C, e em torno de 15 metros para o dispositivo B.

O banco de dados (Item E na Figura 9) armazena individualmente a leitura atual dos sensores de cada *endpoint*, assim como a média da leitura a cada hora do dia em um histórico dos últimos 7 dias, a fim de alimentar um gráfico no aplicativo de usuário, onde o produtor pode verificar e comparar a mudança de temperatura ao longo da semana, por exemplo, verificando alguma possível falha ou má eficiência no sistema de forma rápida.

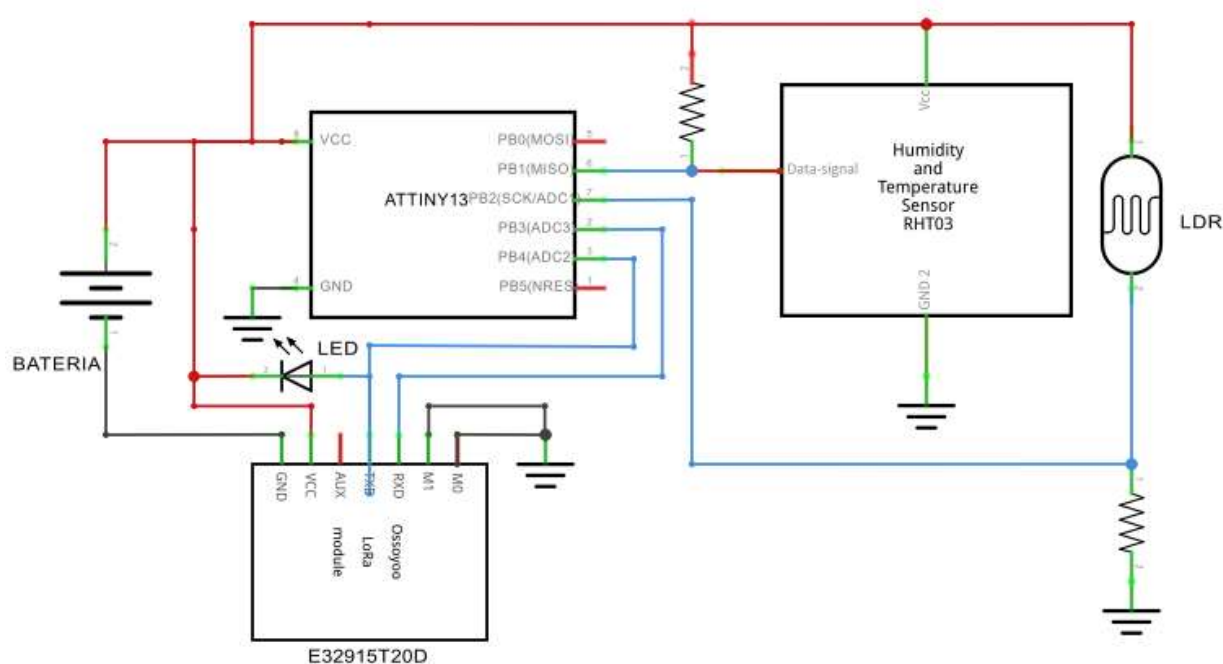
Por fim, a interface de usuário é caracterizada por uma aplicação *mobile* (Item F na Figura 9) onde o agricultor poderá visualizar em tempo real as medições de temperatura, umidade e luminosidade interna do *Dark House* em 3 pontos distintos ao longo de seu comprimento. Estes dados são atualizados no intervalo de 1 minuto para cada *endpoint*, desde que o usuário tenha acesso à *internet*.

As seções a seguir apresentam as características do desenvolvimento dos dispositivos aqui apresentados.

### 3.2 Endpoint's

Os *endpoint's* tem como principal objetivo enviar os dados de luminosidade, temperatura, umidade do *Dark House* para o *gateway*. A construção, apresentada na Figura 10, tem como principal pilar a intenção de gastar o mínimo de energia possível para enviar estes dados para o *gateway* sem qualquer conexão física externa, possibilitando assim instalá-los em qualquer lugar que for desejável, de forma rápida e eficiente, bastando apenas estar dentro da área de comunicação do rádio *LoRa*.

Figura 10 - Diagrama elétrico dos *endpoint's* instalados no *Dark House*.



Fonte: Autor, 2020.

Vale ressaltar que todos os componentes do circuito devem preferencialmente trabalhar com pouca drenagem de corrente, afim de consumir o mínimo de energia possível da bateria. Para isso, a escolha ideal de cada modelo de componentes é crucial para o sucesso do projeto, pois de nada adianta um *endpoint* ser alimentado via bateria, sendo que um sensor, microcontrolador ou até mesmo um modelo de rádio *LoRa* utilizado no circuito, acabe consumindo toda a energia em poucos dias. Nas próximas seções serão apresentados os componentes que fazem parte da construção dos *endpoint's*.

### 3.2.1 Microcontrolador *Attiny85*

Responsável por controlar o *endpoint*, o *Atmel Attiny85* é um microcontrolador CMOS de 8 bits de baixa potência baseada na arquitetura RISC, aprimorada do AVR. Executando diversas instruções em um único ciclo de *clock*, o *chip* alcança rendimentos próximos a 1 MIPS por MHz, permitindo ao projetista do sistema otimizar o consumo de energia *versus* a velocidade de processamento. Fabricado usando uma tecnologia de memória não volátil de alta densidade da *Atmel*, a *flash ISP On-Chip* permite que a memória de programa seja reprogramada no sistema através de uma interface serial SPI, por um gravador de memória não volátil convencional ou por um código de inicialização *On-Chip* em execução no núcleo AVR (*MICROCHIP, 2013*). A Figura 11 apresenta a pinagem do microcontrolador *Attiny85*.

Figura 11 - Pinagem do microcontrolador *Attiny85*.



Fonte: Adaptado de MICROCHIP, 2020.

Segundo o *datasheet* do fabricante, pode-se destacar os devidos recursos:

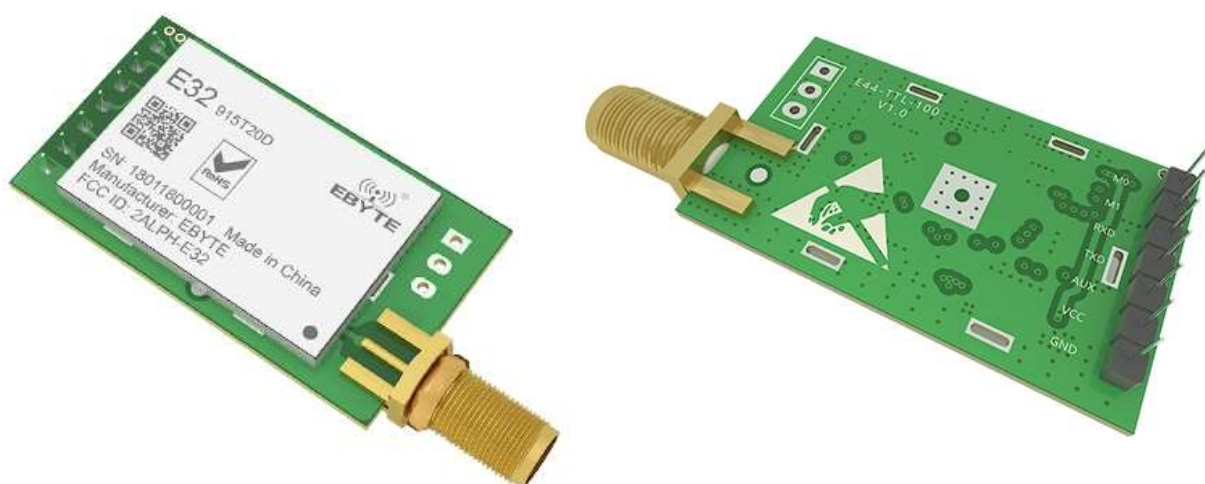
- Possui um *clock* interno de 1 a 8 MHz, podendo chegar a uma frequência de operação máxima de até 20 MHz com a adição de um cristal externo;
- Contém 6 pinos digitais de *I/O*, podendo ser 4 de canais analógicos ADC, 3 canais PWM de 8 bits e 2 *timers*;
- Memória de programa de até 8 kB, com uma RAM de dados de 512 B;
- Resolução do conversor analógico digital ADC de 10 bits;
- Tensão de alimentação de 2.7 V à 5.5 V (*clock* ≤ 10 MHz);
- Possui uma dimensão de 3.3 mm de altura, 9.27 mm de comprimento e 6.35 mm de largura, ideal para projetos pequenos e enxutos;



### 3.2.2 Módulo LoRa E32

Para a comunicação LoRa do *endpoint* com o gateway, foi utilizado o módulo serial (UART) sem fio *E32-915T20D* da empresa chinesa *Chengdu Ebyte Electronic Technology*, mais conhecida como *Ebyte*. Este dispositivo, apresentado na Figura 12, é baseado no *chip LoRa®* da *Semtech SX1276*, trabalhando em uma frequência na faixa de aproximadamente 915 MHz.

Figura 12 – Módulo serial LoRa *E32-915T20D*.



Fonte: Adaptado de *EBYTE*, 2019.

De acordo com o *datasheet*, este modelo possui uma potência de transmissão de 20 dBm (100 mW), com uma sensibilidade de recepção de até -146 dBm. A distância de teste pode alcançar os 3 km com uma taxa de dados pelo ar de 2.4 kbps, em área aberta e clara, na potência máxima, com uma antena com ganho de 5 dBi, e em uma altura de pelo menos 2 metros. Em soma, um dos principais pontos positivos deste módulo é o baixo consumo de energia, ideal para aplicações a bateria. Apresenta um dreno de corrente de 120 mA para transmissão de dados, 14 mA para recepção de dados, e 4  $\mu$ A no modo *stand-by*. Possui 7 pinos externos designados para a configuração, transmissão/recepção de dados e alimentação (*M0*, *M1*, *RXD*, *TXD*, *AUX*, *VCC*, *GND*). A placa pode operar com uma tensão entre 2.3 V a 5.2 V. Os pinos *M0* e *M1* podem apresentar 4 modos distintos de operação de acordo com o seu nível lógico, podendo ir desde a transmissão transparente, até o modo *sleep* onde recebe os parâmetros de configuração. Os pinos *RXD* e *TXD* representam a *UART* de

entrada e saída de dados, e o pino *AUX* indica o estado de funcionamento do módulo (EBYTE, 2019).

Outro fator importante deste rádio é na sua facilidade de configuração inicial. A empresa disponibiliza um *software* serial onde é possível alterar diversos parâmetros de trabalho do rádio *LoRa*, conforme a Figura 13 a seguir:

Figura 13 - *Software* serial de configuração do *LoRa Ebyte*.



Fonte: Ebyte, 2020.

Para o projeto, todos os rádios estão no mesmo canal (915 Mhz), ou seja, no parâmetro "*Channel*", é colocado o valor 15. Vale ressaltar que este modelo de rádio tem um *range* de trabalho de 900 a 931 Mhz, ou seja, pode-se ter até 31 canais diferentes, para cada canal a frequência de operação é alterada em 1 Mhz. Já no endereço coloca-se um valor único para aquele rádio pois o projeto está trabalhando na transmissão fixa.

A transmissão fixa, ou do inglês "*Fixed mode*", está habilitada nos rádios do projeto. Com este parâmetro acionado, ao transmitir um pacote de dados, deve-se necessariamente colocar por primeiro o endereço e canal do rádio de destino na forma

hexadecimal, protocolo de comunicação este muito similar ao *Modbus*. Com este modo de operação, é garantido que o *endpoint* transmita seus dados e apenas o *gateway* irá receber de forma segura, evitando assim que os demais *endpoint's* gastem energia desnecessária recebendo informações de outros *endpoint's*, consumindo assim bateria e deixando a arquitetura ineficiente.

Dentre tantos parâmetros, vale destacar também a taxa de comunicação serial (9600 bps), no microcontrolador esta taxa deve ser respeitada, ou seja, deve ser igual.

### 3.2.2.1 Antenas

As antenas são parte fundamental para o sucesso na transmissão de dados entre os rádios de baixa potência *LoRa*. Para o projeto adquiriu-se um modelo de antena de baixo custo e de alta qualidade, conforme apresenta a Figura 14.

Figura 14 - Antena modelo *rubber*.



Fonte: Autor, 2020.

Também fabricado pela empresa *Ebyte*, na Figura 14 pode ser visto a antena junto ao rádio *LoRa* em conjunto com o módulo E15-USB-T2 de fácil conexão com o computador, dedicado para a configuração do rádio, facilitando assim a comunicação

do mesmo com o *software* serial, possibilitando fazer os primeiros testes de pacotes de dados simulados através de terminais seriais.

De acordo com o *datasheet* do módulo *LoRa E32* da *Ebyte*, existe uma tabela com algumas antenas recomendadas para se resultar em uma boa comunicação entre os rádios. O modelo de antena escolhido apresenta um ganho de saída de aproximadamente 2.5 dBi, com um casamento de impedância entre o rádio de 50  $\Omega$ , trabalhando em uma frequência próxima dos 915 MHz. Por ser de um modelo “*rubber*”, utilizada em roteadores *WiFi*, apresenta uma altura de 11 cm, com um conector do tipo fêmea SMA-J que facilita a conexão com o módulo (CDSNET, 2020).

### 3.2.3 Sensores Digitais e Analógicos

Os sensores utilizados no projeto envolvem tanto sensores digitais como sensores analógicos de baixo custo, comprovando o funcionamento do sistema.

#### 3.2.3.1 Sensor de Temperatura e Umidade DHT11

O sensor DHT11 (Figura 15) é um sensor de temperatura e umidade que permite fazer leituras que apresentam um *range* de 0 °C a 50 °C de temperatura e umidade entre 20 a 90 %, com uma faixa de precisão 2 °C e 5 % (GAMA, 2016). Por ser de baixo custo, este sensor não apresenta uma precisão em casas decimais após a vírgula, porém a intenção do projeto não era essa, logo este sensor trabalhou muito bem no circuito do *endpoint*, pois com apenas 1 entrada digital consegue-se as 2 informações de temperatura e umidade.

A envio da leitura de dados feita pelos sensores internos se dá a partir de 5 segmentos de 8 bits (40 bits). Os dois primeiros *bytes* correspondem à umidade relativa na forma decimal. O terceiro e quarto *byte* formam a temperatura em graus *Celsius* na forma decimal, e o último *byte* é o *checksum* dos dados, responsável pela soma de verificação dos dados enviados pelo sensor.

Figura 15 - Sensor digital DHT11.



Fonte: Adaptado em 12/06/2020 de <https://www.filipeflop.com/produto/sensor-de-umidade-e-temperatura-dht11/>.

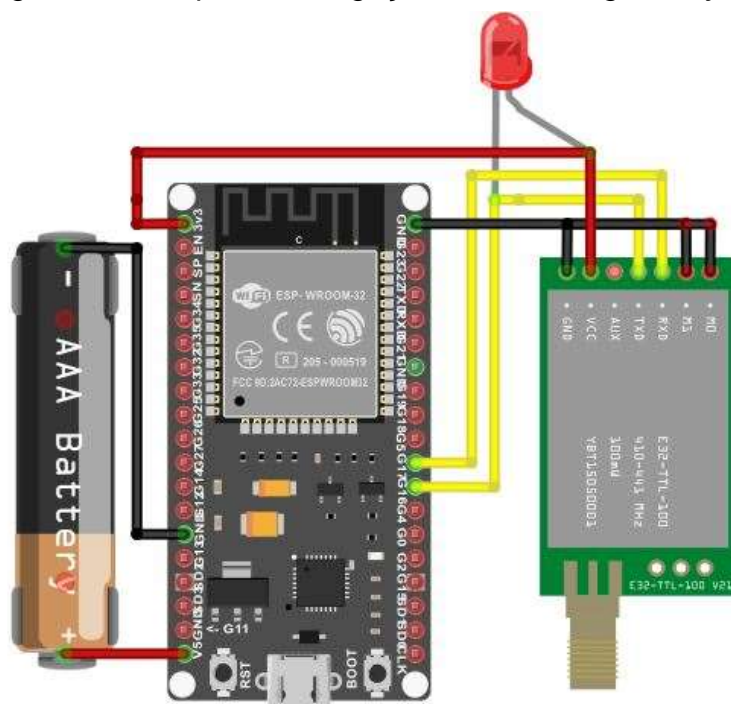
### 3.2.3.2 Sensor Analógico LDR

O sensor analógico LDR (*Light Dependent Resistor*) tem o papel de controlar a intensidade luminosa no *Dark House*. Para o projeto utilizou-se um LDR de 10 mm e 2 LDR's de 5 mm, encontrados no varejo. Ambos os tamanhos funcionaram de forma satisfatória. No circuito do microcontrolador, a sua leitura analógica é convertida em porcentagem de 0 a 100 % proporcional a intensidade luminosa do ambiente.

## 3.3 Gateway

O *gateway* (Figura 16) tem o papel de capturar os dados de cada *endpoint*, verificar se os mesmos estão em formatação correta, identificando quem está enviando estes dados, para no fim transmitir essas informações ao banco de dados na nuvem. O *gateway* trabalha como ouvinte, esperando os dados serem recebidos em um intervalo de tempo definido pelos próprios *endpoint's*. Para tanto, foi configurado uma diferença no tempo de transmissão dos dispositivos para que não ocorra conflito de pacote de dados sendo transmitidos ao mesmo tempo, evitando assim a perda da informação de algum *endpoint* em específico.

Figura 16 - Esquema de ligação elétrica do gateway.



Fonte: Autor, 2020.

Este sistema envolverá um alto processamento de dados, logo necessita-se de um microcontrolador robusto para a função. Para tanto, foi definido o uso de uma placa que apresenta dois núcleos de processamento e uma conexão com a *internet* via *WiFi*. Na próxima seção será apresentado o microcontrolador utilizado que comanda todo o sistema automatizado do *gateway*, em conjunto com as suas especificações técnicas.

### 3.3.1 **NodeMCU ESP32**

Responsável pelo *gateway* do sistema, o *ESP32* (Figura 17) é uma placa de prototipagem comumente projetada para aplicativos móveis, eletrônicos portáteis e para a Internet das Coisas. Sua arquitetura consiste em um microprocessador *dual core Tensilica Xtensa 32-bit LX6* com suporte embutido à rede *Wifi*, *Bluetooth* e com memória *flash* integrada. Possui baixo consumo de potência e trabalha com o gasto de energia de forma dinâmica e inteligente, podendo estar em modo *stand-by* e ser acordado somente quando uma condição específica for detectada (ESPRESSIF, 2020).

Figura 17 - Placa de prototipagem *ESP32* para a Internet das Coisas.



Fonte: Adaptado de FilipeFlop, 2020.

Segundo o *datasheet* do fabricante, pode-se destacar os devidos recursos:

- Dois núcleos de CPU controlados de forma independente com frequência de *clock* ajustável, variando de 80 MHz à 240 MHz;
- Saída de +19,5 dBm na antena garantindo uma boa faixa de comunicação
- Corrente de *stand-by* inferior a 5  $\mu$ A, sendo adequado para aplicações eletrônicas alimentadas por bateria, fornecendo 3.3 V para a placa;
- Integra 16 MB de memória *flash* com 36 GPIO's, sendo 18 ADC e 2 DAC;

### 3.4 Protocolo de comunicação

A criação de um protocolo de comunicação robusto entre os dispositivos é de grande importância para o sucesso do projeto. Uma das intenções iniciais refere-se na legitimidade do pacote de informações, forçando a arquitetura a analisar apenas uma única vez os dados transmitidos provenientes dos *endpoint's*, verificando o tamanho da mensagem, quem está enviando estes dados, se os valores da leitura dos sensores estão de acordo com o *range* de trabalho dos mesmos, para que ao final ocorra o processamento e armazenamento no banco de dados com segurança.

O formato da mensagem recebida pelo *gateway* através dos *endpoint's* pode ser visto na Figura 18.

Figura 18 - Protocolo de comunicação entre *endpoint* e *gateway*.



Fonte: Autor, 2020.

De acordo com a Figura 18, o tamanho da mensagem é padronizado em 10 caracteres sobre quaisquer circunstâncias, levando em consideração principalmente a leitura dos sensores. As 3 primeiras letras (EPA) representam o *endpoint* responsável pelo envio do pacote de dados, seguida por 6 dígitos, divididos em 2 dígitos para cada sensor presente no dispositivo.

Os 2 primeiros números referem-se a leitura da temperatura (25), seguida pela leitura da umidade (70) e após pela leitura da luminosidade (46), finalizando pelo caracter terminador (X), identificando que a mensagem chegou ao seu final.

Quando algum sensor apresenta um valor menor que 10, o sistema automaticamente acrescenta mais um zero à esquerda (00), evitando que o tamanho da mensagem perca o seu padrão original, garantindo uma transmissão de qualidade.

### 3.5 Cálculo da vida útil da bateria

Na era da Internet das Coisas, os dispositivos que utilizam bateria para a sua alimentação são facilmente instalados em diversos lugares, pois são pequenos, robustos e de fácil manuseio, influenciando diretamente no sucesso do projeto. No final das contas, o que todas estas aplicações têm em comum é a necessidade de aumentar a vida útil da bateria para diminuir despesas, melhorar a experiência e



apresentar uma boa eficiência a partir do desenvolvimento de *hardwares* e *softwares* adequados para dispositivos de baixa potência (RODHE & SCHWARZ, 2020).

Para o projeto, o cálculo da vida útil da bateria seguiu uma fórmula de previsão levando em consideração alguns parâmetros de consumo de corrente através do tempo em que os *endpoint's* ficam operando e no tempo em que se encontram no modo “*sleep*”, momento em que o dispositivo entra em modo suspensão a fim de economizar o máximo possível da bateria de *lithium*. Este cálculo foi necessário a partir de uma mudança da arquitetura do projeto na qual será detalhada nas próximas seções.

Segue os parâmetros necessários para o cálculo:

- **C** – Capacidade depreciada da bateria, normalmente representa 85 % da capacidade fornecida pelo fabricante (mAh);
- **As** – Corrente consumida pelo dispositivo durante o sono (mA);
- **Aw** – Corrente consumida pelo dispositivo quando acordado (mA);
- **Aavg** – Corrente média (mA);
- **Wph** – Número de despertares por hora;
- **Wt** – Duração de um único despertar (ms);
- **Twph** – Tempo desperto (s);
- **Tsph** – Tempo de sono (s);

$$Twph = Wph * Wt$$

$$Tsph = 3600 - Twph$$

$$Aavg = \frac{(Aw * Twph) + (As * Tsph)}{3600}$$

$$Dias = \frac{\left(\frac{C}{Aavg}\right)}{24}$$

Os parâmetros de corrente consumida durante o sono e a corrente consumida quando acordado foram retirados a partir da medição de multímetros de modelo Minipa ET-1002 e Minipa ET-1110 DMM. O tempo em que o dispositivo acorda, captura a leitura dos sensores e transmite os dados pelo rádio *LoRa*, foi capturado a partir de um osciloscópio de modelo *Tektronix* TDS2012. Já para a bateria de *lithium*,

segundo o fabricante, a mesma fornece uma corrente de saída de aproximadamente 2200 mAh.

Definido no trabalho, o intervalo de tempo em que um *endpoint* transmite, entra em modo *sleep*, acorda e volta a transmitir novamente é de 1 minuto, logo, no intervalo de 1 hora, ocorrem 60 despertares (Wph). No consumo de corrente, em modo acordado quando o *endpoint* está transmitindo dados, mediu-se 105 mA ( $A_w$ ), e quando estava em modo suspensão, mediu-se 154  $\mu$ A ( $A_s$ ). O tempo que o dispositivo leva para acordar e transmitir os dados é de aproximadamente 15 ms ( $W_t$ ), tempo esse capturado pelo osciloscópio a partir da verificação de inúmeras transmissões.

Com todos os dados obtidos, realizaram-se os devidos cálculos:

$$C = 2200 * 0,85 = \mathbf{1870mAh}$$

$$T_{wph} = 60 * 0,015 = \mathbf{0,9s} \quad T_{sph} = 3600 - 0,9 = \mathbf{3599,1s}$$

$$A_{avg} = \frac{(105 * 0,9) + (0,154 * 3599,1)}{3600} = \mathbf{0,1802115mA}$$

$$Dias = \frac{\left(\frac{1870}{0,1802115}\right)}{24} \cong \mathbf{432 dias}$$

Como pode-se verificar pelos cálculos, a estimativa da vida útil da bateria gira em torno de aproximadamente 432 dias até a próxima recarga, o que foi considerado um ótimo resultado. Vale considerar no cálculo a depreciação de 85 % da bateria a fim de obter um resultado o mais fidedigno possível, pois as baterias de *lithium* retiradas de sucata em sua maioria não conseguem fornecer toda a sua capacidade definida pelo fabricante. Para o projeto as baterias foram retiradas de *packs* de baterias de *notebook* já descartados.

### 3.6 Custos do projeto

Afim de se obter uma base dos custos que um projeto deste tamanho necessita, foi elaborada a Tabela 1, evidenciando os gastos realizados de todos os materiais necessários para a montagem da arquitetura.

Tabela 1 - Materiais utilizados no projeto.

| <b>Item</b>                             | <b>Preço</b>      |
|---|-------------------|
| Rádio <i>LoRa Ebyte</i> (4un.)          | R\$ 135,84        |
| Antenas <i>Rubber</i> (4un.)            | R\$ 55,28         |
| E15-UBS-T2 (2un.)                       | R\$ 45,74         |
| Sensor DHT11 (3un.)                     | R\$ 45,70         |
| Caixas Patola (4un.)                    | R\$ 40,70         |
| Microcontrolador <i>Attiny85</i> (3un.) | R\$ 30,65         |
| Placa esp32 (1un.)                      | R\$ 26,86         |
| Controlador TP4056 (3un.)               | R\$ 27,60         |
| Bateria <i>lithium</i> 18650 (3un.)     | R\$ 20,00         |
| Sensor Luminosidade LDR (3un.)          | R\$ 12,60         |
| Componentes Discretos (14un.)           | R\$ 17,03         |
| <b>TOTAL</b>                            | <b>R\$ 458,00</b> |

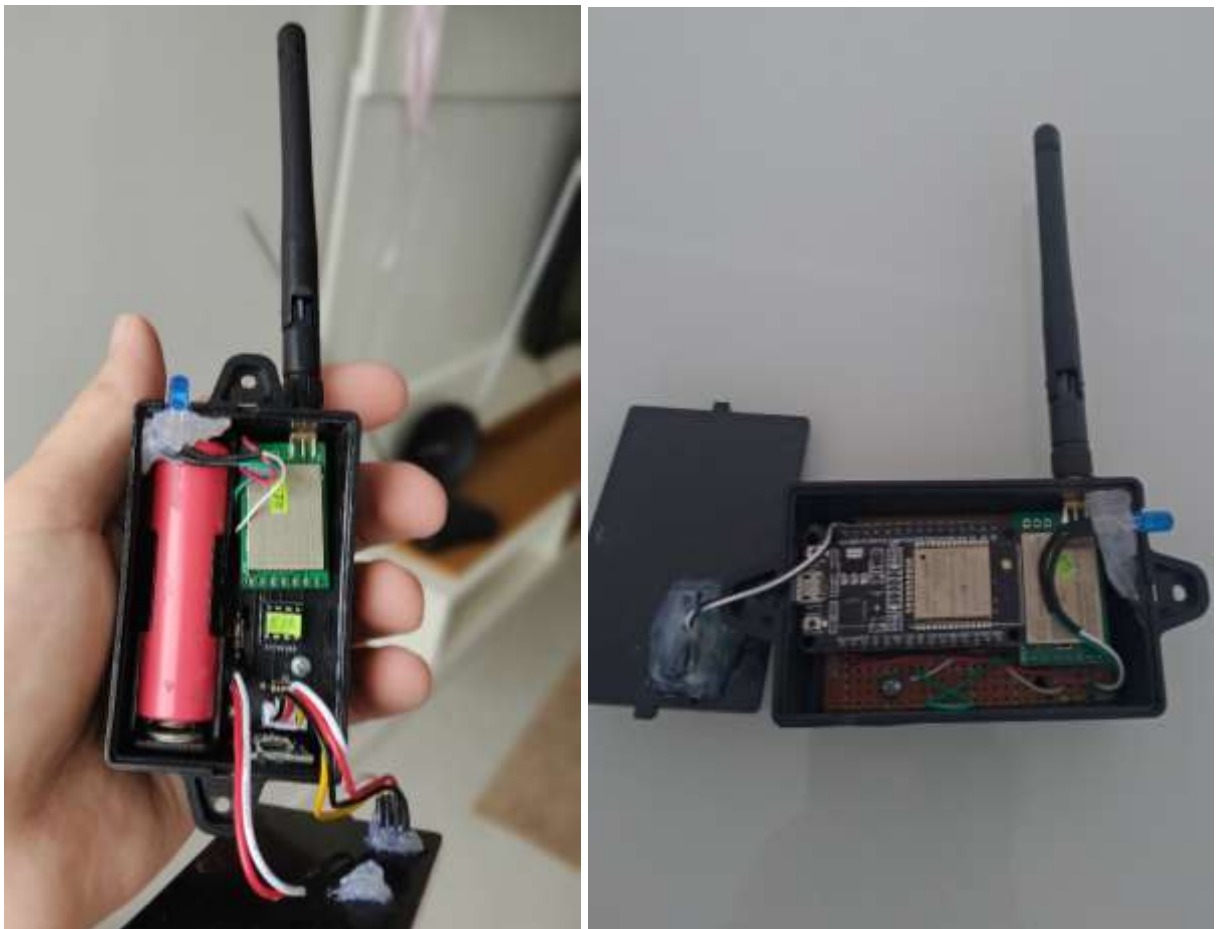
Fonte: Autor, 2020.

Como pode ser visto na Tabela 1, a maior parte do custo é relativa à comunicação *LoRa*, em conjunto com a antena e o módulo E15 para configuração, representando cerca de 51 % dos gastos do projeto. Em modo comparativo, foi pesquisado algum dispositivo IoT que se aproximasse ao construído no projeto. Pelo site Alibaba, *Tzone Digital Technology Co., Ltd.* anuncia um dispositivo *LoRa Sensor* afim de monitorar temperatura e umidade por um preço de US\$ 48,00 dólares, ou R\$ 262,01 reais convertidos na cotação atual (US\$ 1,00 = R\$ 5,46). No projeto, o valor de apenas um único *endpoint* chegou ao custo de R\$ 113,14, desconsiderando o custo de mão de obra e engenharia para programação, desenvolvimento e montagem do sistema elaborado (TZONE DIGITAL, 2020).

## 4 RESULTADOS

A fim de se comprovar o funcionamento da arquitetura desenvolvida, foram realizados primeiramente testes em ambiente controlado, analisando principalmente a qualidade da comunicação e a vida útil da bateria inserida nos *endpoint's*. Na Figura 19 é possível verificar a montagem final dos dispositivos do projeto.

Figura 19 - Montagem final do *endpoint* e *gateway*.



Fonte: Autor, 2020.

A montagem final feita em caixa patola deixou o trabalho muito robusto e profissional, assegurando o circuito eletrônico de qualquer impureza e umidade externa, além de ficar extremamente leve e compacto.

Inicialmente os *endpoint's* foram construídos em placa perfurada padrão, especialmente por não saber com exatidão o tamanho e posição que cada componente iria ocupar dentro da caixa plástica. Após feita a primeira montagem, foi elaborada então uma placa de circuito eletrônica dedicada e confeccionada, como demonstra a Figura 19 anterior na imagem do *endpoint* (esquerda), deixando o circuito livre de qualquer má conexão elétrica ou mecânica.

O *gateway* na Figura 19 (direita) ocupou um espaço exato pelo tamanho disponível utilizando a placa de prototipagem ESP32 *NodeMCU*. Na Figura 20 é possível ver a montagem completa do projeto.

Figura 20 - Montagem final dos dispositivos.



Fonte: Autor, 2020.

Como foi declarado nas seções anteriores, a arquitetura do projeto passou por transformações após a análise da vida útil da bateria. Nas seções a seguir será detalhado o modo de funcionamento da comunicação dos *endpoint's* com o *gateway*.

#### 4.1 Arquitetura – Versão Inicial

Em sua primeira versão, a arquitetura do projeto se baseava no sistema Mestre-Escravo, onde o *gateway* era considerado o mestre e os *endpoint's* os escravos, enviando a leitura dos sensores a partir do recebimento de requisições vindas do mestre. Esta requisição concebia um intervalo de 5 segundos até o próximo *endpoint*, dando tempo suficiente para que o *gateway* receba a resposta de retorno, analisando a mensagem, e enviando os valores para o banco de dados.

Para este sistema, os *endpoint's* ficavam sempre em modo de funcionamento, pois para receber a requisição, a comunicação serial entre o *LoRa* e microcontrolador deveria estar sempre ativada, o que acabou culminando na baixa eficiência da bateria, apesar do modelo de comunicação ter respondido de forma satisfatória. Para os testes iniciais, a recarga da bateria foi necessária após 4 dias, tornando a arquitetura inviável.

#### 4.2 Arquitetura – Versão Atual

Na versão atual, uma análise do consumo de corrente foi elaborada afim de prolongar o tempo de recarga da bateria, como foi demonstrado na seção 3.5. Agora a arquitetura não se baseia no sistema Mestre-Escravo, tendo em sua versão atual o *gateway* operando apenas como ouvinte, onde os *endpoint's* enviam a leitura dos sensores de tempos em tempos, intercalados entre si. Este intervalo é de aproximadamente 1 minuto, ou seja, cada *endpoint* envia os valores 60 vezes em 1 hora. Durante o período de 1 minuto, 15 ms são dedicados para a transmissão dos dados, e o resto do tempo o *endpoint* entra em modo suspensão, economizando o máximo possível de energia da bateria, prolongando o tempo de recarga de 4 dias para 432 dias, conforme calculado na seção 3.5.

Para evitar que dois ou mais *endpoint's* enviem um pacote de informações simultaneamente para o *gateway*, intercalou-se um tempo de 20 segundos entre cada dispositivo para evitar uma possível colisão de informações. Vale ressaltar que para um projeto deste modelo, componentes de baixo consumo de energia são os mais visados, além de possuírem um modo de suspensão, este presente tanto pelo microcontrolador *Attiny85* como o rádio *LoRa E32* da *Ebyte*.

### 4.3 Testes em campo

A instalação e os testes realizados no aviário em Nova Bréscia/RS se mostraram bastante eficientes e seguros, sem apresentar quaisquer problemas na configuração de rede *WiFi* para o *gateway* e alcance de sinal por parte do rádio *LoRa*. Como o *range* do rádio é de aproximadamente 3 quilômetros em campo aberto, para um aviário de 200 metros a tecnologia de comunicação sem fio não apresentou falhas mesmo tendo que atravessar paredes para enviar os sinais para o *gateway*. A Figura 21 apresenta a instalação dos dispositivos dentro do *Dark House*.

Figura 21 - Instalação dos *endpoint's* no aviário *Dark House*.

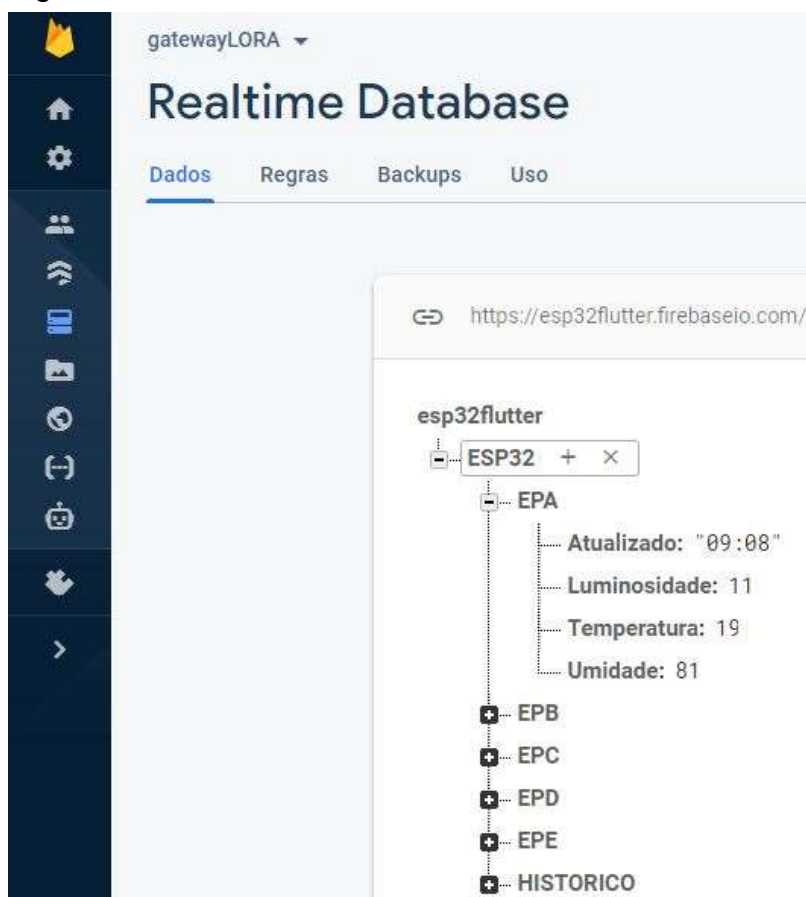


Fonte: Autor, 2020.

#### 4.4 Banco de dados

O *Firebase Realtime Database*, por apresentar uma biblioteca de fácil utilização com a placa ESP32, fez com que as consultas e inserções no banco fossem de fácil manuseio, além de apresentar um ambiente de fácil visualização dos dados sendo atualizados, separados por heranças, formatação esta vinda do modelo *JSON*. A Figura 22 apresenta o *console* do banco de dados utilizado no projeto.

Figura 22 - Console do *Firebase Realtime Database*.



Fonte: Autor, 2020.

Como este banco de dados tem plano gratuito e plano pago, vale a pena analisar a quantidade de informações que serão armazenadas e consumidas pelo banco durante o mês, para que se tenha um controle da transferência de dados e não fuga do plano gratuito. Para o projeto, o tamanho do banco é dinâmico, ou seja, tem-se um histórico dos últimos 7 dias da semana, que vai sendo apagado e atualizado com informações mais recentes, conforme o passar do tempo.



A hospedagem fornece no plano gratuito um armazenamento de até 1 GB de dados, onde foi consumido no projeto em média cerca de 7,4 kB de pico. Os *downloads* são fornecidos até 10 GB/mês, sendo consumido próximo dos 300 MB de dados, contando com sobrecarga de protocolo de conexão e de criptografia. Para esta taxa de transferência, analisou-se uma intensidade de *download* de em média aproximadamente 10,7 MB durante cada dia do mês.

Foi utilizada uma biblioteca que permite o acesso a integração do *Firebase* com a placa *NodeMCU ESP32*. Com funções variadas, é possível jogar diversos tipos de dados para o banco com a *tag* “SET”, desde *Int*, *Float*, *Double*, *Bool*, *String*, *JSON*, *Array*, *Blob* e *File*. Essas funções ainda retornam um valor *booleano*, indicando o sucesso da operação se todas as condições necessárias forem correspondidas. O mesmo vale para funções que necessitam recuperar dados armazenados no banco utilizando a *tag* “GET”. Sendo assim, a placa *ESP32* pode trabalhar como um *gateway*, jogando dados recebidos do *endpoint* para um servidor *Firebase* localizado na nuvem (SUWATCHAI, 2019).

#### 4.5 Aplicativo *LoRa Monitor*

A versão final do aplicativo *mobile* desenvolvido e disponibilizado ao produtor, permite o monitoramento em tempo real da umidade, temperatura e luminosidade interna do *Dark House* nos diferentes *endpoint's*, além da visualização do histórico da média a cada hora do dia dos últimos 7 dias da semana, podendo comparar diferentes datas da semana de forma gráfica e de fácil visualização.

O aplicativo ainda disponibiliza o último horário de atualização dos *endpoint's*, podendo checar de forma direta se os dispositivos estão se comunicando normalmente, ou se algum problema ocorreu durante o funcionamento do sistema, seja por falta de energia ou *internet* por parte do *gateway*, ou por algum problema elétrico ou do rádio *LoRa* por parte dos *endpoint's*, ou até mesmo a descarga da bateria. A Figura 23 apresenta o aplicativo sendo executado em um dispositivo físico.

Figura 23 - Aplicativo LoRa Monitor.



Fonte: Autor, 2020.

No aplicativo é possível visualizar separadamente as variáveis de temperatura, umidade e luminosidade, assim como também verificar os dias anteriores de leitura da semana, e ainda comparar um dia da semana com outro de interesse, verificando as diferenças de leitura entre os dias em questão.

O gráfico em barras é totalmente animado, sendo possível deslizar para os lados visualizando as leituras armazenadas a cada hora do dia, além de poder ampliar ou reduzir o gráfico, dando uma perspectiva mais dinâmica, podendo visualizar assim um maior intervalo de tempo.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou o desenvolvimento de um sistema de monitoramento de variáveis, através da tecnologia de comunicação sem fio de baixa potência *LoRa*, aplicado em um aviário de modelo *Dark House*, no interior da cidade de Nova Bréscia/RS, partindo da utilização de conhecimentos adquiridos na graduação em diferentes áreas, como elétrica, eletrônica e programação computacional.

Apesar dos sensores serem de baixo custo e não apresentarem grande precisão, os *endpoint's* se mostraram bastante eficazes no trabalho proposto e corresponderam com uma alta eficiência na comunicação a partir do rádio *LoRa*. O microcontrolador escolhido foi um grande acerto, foram usadas todas as suas portas digitais e analógicas disponíveis, consumindo o melhor que o *chip* da Atmel possa oferecer através de suas variadas funções internas.

Para o *gateway* no projeto, a placa ESP32 também foi uma ótima escolha, de baixo custo e com dois núcleos em seu processamento de informações, a integração com o banco de dados a partir de uma conexão via *WiFi* foi extremamente satisfatória, com um tempo de resposta próximo de 1 segundo até a atualização dos dados com o *Firebase*.

De forma geral, a arquitetura com os seus diferentes níveis de comunicação se mostrou muito eficiente a partir da qualidade e segurança na transmissão dos dados capturados no interior do *Dark House*, gerando informações importantes em tempo real para o produtor com um acesso remoto a qualquer lugar do mundo a partir da conexão com a *internet*.

Tendo em vista que o sistema pode ser aprimorado, através da aquisição de componentes com custo mais elevado, permitindo assim o monitoramento de informações com maior precisão, como sugestões para trabalhos futuros, algumas melhorias que podem ser implementadas são:

- Substituir os sensores do projeto por sensores de alta precisão que apresente valores com casas decimais;
- Utilizar baterias de *lithium* novas, pois no projeto foram retiradas de sucata a partir de baterias velhas de notebooks, logo o desempenho do *endpoint* será muito melhor, com um alto tempo de recarga;
- Utilizar o *chip* ESP32 ao invés da placa de prototipagem *NodeMCU*, deixando o *gateway* mais compacto, dedicando uma placa eletrônica específica para tal finalidade;
- Alterar o microcontrolador *Attiny85* por outro similar da família com uma quantidade maior de entradas e saídas com o intuito de introduzir um oscilador externo, fazendo com que o tempo de sono e tempo acordado tenha uma maior precisão;
- Alterar o modelo do rádio *LoRa E32-915T20D* para *E32-915T30D* para um alcance ainda maior no envio do pacote de informações, aumentando os 3 km de distância para 8 km, alterando a potência de saída de 100 mW para 1 W conforme a necessidade.
- Implementar um *endpoint* (EPD) para a leitura do funcionamento do sistema de refrigeração do *Dark House*, já implementado no aplicativo.
- Implementar um *endpoint* (EPE) para realizar a leitura do nível do reservatório de caixas d'água, já implementado no aplicativo.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU. **Planejamento de Aviários Para Criação De Frangos De Corte.** EMBRAPA, 2000. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/58354/1/CUsersPiazzonDocuments262.pdf>>. Acesso em: 16 maio 2020.

ALBINO; BASSI; SAATKAMP; LORENZET. **Construção de Aviário para Produção de Frangos de Corte em Sistemas Alternativos em Pequena Escala.** AVICULTURA, 2013. Disponível em: <<https://pt.engormix.com/avicultura/artigos/construcao-aviario-producao-frangos-138316.htm>>. Acesso em: 19 maio 2020.

ALTUS. **O que é e quando devo utilizar um encoder.** ALTUS, 2019. Disponível em: <<https://www.altus.com.br/post/242/o-que-e-e-quando-devo-utilizar-um-encoder-3F>>. Acesso em: 26 maio 2020.

ANATEL. **PLANO DE ATRIBUIÇÃO, DESTINAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIAS NO BRASIL.** ANATEL, 2017. Disponível em: <<https://www.anatel.gov.br/Portal/verificaDocumentos/documento.asp?numeroPublicacao=347196>>. Acesso em: 24 maio 2020.

ASCOM. **Agricultor investe mais de R\$ 10 milhões para construir 12 aviários no interior.** REGIÃO DOS VALES, 2016. Disponível em: <<http://www.regiaodosvales.com.br/agricultor-investe-mais-de-r-10-milhoes-para-construir-12-aviarios-no-interior/>>. Acesso em: 19 maio 2020.

ASSIS. **Microcontrolador.** UNIPAC, 2004. Disponível em: <<https://www.unipac.br/site/bb/tcc/tcc-f6cceedfa3f6307211208b80c790c6e3.pdf>>. Acesso em: 14 abril 2020.

ATMEL. **Atmel 8-bit AVR Microcontroller with 2/4/8K Bytes In-System Programmable Flash.** MICROCHIP, 2013. Disponível em: <[http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-2586-AVR-8-bit-Microcontroller-ATtiny25-ATtiny45-ATtiny85\\_Datasheet.pdf](http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-2586-AVR-8-bit-Microcontroller-ATtiny25-ATtiny45-ATtiny85_Datasheet.pdf)>. Acesso em: 18 abril 2020.

**BALLUFF. Sensor ultrassônico: como ele funciona e de que modo pode ajudar a sua indústria.** BALLUF, 2018. Disponível em: <<https://balluffbrasil.com.br/sensor-ultrassonico-como-ele-funciona-e-de-que-modo-pode-ajudar-a-sua-industria/>>. Acesso em: 30 maio 2020.

**BAYER. Brasil que produz: como o país se tornou uma potência agrícola.** BAYER, 2019. Disponível em: <<https://www.bayerjovens.com.br/pt/materia/?materia=brasil-que-produz-como-o-pais-se-tornou-uma-potencia-agricola>>. Acesso em: 03 abril 2020.

**BRAGA. LDR (ALM332).** INSTITUTO NCB. Disponível em: <<https://www.newtoncbraga.com.br/index.php/almanaque-tecnologico/201-l/7547-ldr-alm332>>. Acesso em: 20 abril 2020.

**CASSIOLATO. Sensor Hall - A tecnologia dos Posicionadores Inteligentes de última geração.** SMAR TECHNOLOGY COMPANY. Disponível em: <<https://www.smar.com/brasil/artigo-tecnico/sensor-hall-a-tecnologia-dos-posicionadores-inteligentes-de-ultima-geracao>>. Acesso em: 31 maio 2020.

**COLUSSI, JOANA. Sistema americano aumenta produção de aves.** GauchaZH, 2014. Disponível em: <<https://gauchazh.clicrbs.com.br/economia/campo-e-lavoura/noticia/2014/11/Sistema-americano-aumenta-producao-de-aves-4644602.html>>. Acesso em: 12 abril 2020.

**CORAZZZA. Um aplicativo multiplataforma desenvolvido com Flutter e NoSQL para o cálculo da probabilidade de apendicite.** LUME, 2018. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/190147>>. Acesso em: 26 abril 2020.

**CDSENET. Antena magnética do conector 915 mhz da antena TX915-XP-100 sma do ganho alto do ufh de 2 pcs 915 mhz wifi antena para uma comunicação sem fio.** CDSENET, 2020. Disponível em: <<https://pt.aliexpress.com/item/32793435854.html?spm=a2g0s.9042311.0.0.5085b90azBDuKB>>. Acesso em: 13 junho 2020.

**CDSENET. 4 TX915-JK-11 CDSENET pcs/lote 915MHz Omni High Gain Wifi Antena SMA Macho uhf Antena Para O Módulo de rf.** CDSENET, 2020. Disponível em: <<https://pt.aliexpress.com/item/32793435854.html?spm=a2g0s.9042311.0.0.5085b90azBDuKB>>. Acesso em: 13 junho 2020.

**EBYTE. E32-915T20D.** EBYTE, 2019. Disponível em: <<http://www.ebyte.com/en/product-view-news.aspx?id=131>>. Acesso em: 12 abril 2020.

**EMBRAPA. Maiores produtores mundiais de carne de frango.** Embrapa, 2018. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/cias/estatisticas/frangos/mundo>>. Acesso em: 03 abril 2020.

EMBRAPA. **Maiores produtores nacionais de carne de frango**. Embrapa, 2018. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/cias/estatisticas/frangos/brasil>>. Acesso em: 03 abril 2020.

ESPRESSIF. **ESP32 SERIES Datasheet**. ESPRESSIF, 2020. Disponível em: <[https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf)>. Acesso em: 14 abril 2020.

Fao statistical yearbook 2013 world food and agriculture. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**, Rome p. 307, 2013. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/i3107e/i3107e00.htm>>. Acesso em: 03 abril 2020.

FERREIRA, JACQUELINE. **Ambiência e Consumo de Energia em Galpões Dark House para Criação de Frangos de Corte: Uso de Diferentes Tipologias e Materiais de Fechamento Lateral**. UFLA, 2017. Disponível em: <[http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/13412/3/DISSERTA%C3%87%C3%83O\\_Ambi%C3%Aancia%20e%20consumo%20de%20energia%20em%20galp%C3%B5es%20Dark%20house%20para%20cria%C3%A7%C3%A3o%20de%20frangos%20de%20corte%3A%20uso%20de%20diferentes%20tipologias%20e%20materiais%20de%20fechamento%20lateral.pdf](http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/13412/3/DISSERTA%C3%87%C3%83O_Ambi%C3%Aancia%20e%20consumo%20de%20energia%20em%20galp%C3%B5es%20Dark%20house%20para%20cria%C3%A7%C3%A3o%20de%20frangos%20de%20corte%3A%20uso%20de%20diferentes%20tipologias%20e%20materiais%20de%20fechamento%20lateral.pdf)>. Acesso em: 12 abril 2020.

FILIFELOP. **Módulo Wifi ESP32 Bluetooth**. FILIFELOP, 2020. Disponível em: <<https://www.filifelep.com/produto/modulo-wifi-esp32-bluetooth/>>. Acesso em: 14 abril 2020.

FIREBASE. **Firestore Realtime Database**. FIREBASE, 2019. Disponível em: <<https://firebase.google.com/docs/database?hl=pt-br>>. Acesso em: 25 abril 2020.

FLAVIANA. **Avaliação do efeito de variáveis produtivas na conversão alimentar de frangos de corte**. UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS, 2015. Disponível em: <[https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/442/o/2015003\\_Dissertacao\\_Flaviana\\_Lupatini.pdf](https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/442/o/2015003_Dissertacao_Flaviana_Lupatini.pdf)>. Acesso em: 14 novembro 2020.

FOUNDATION. **User Interface (UI) Design**. INTERACTION DESIGN FOUNDATION. Disponível em: <<https://www.interaction-design.org/literature/topics/ui-design>>. Acesso em: 26 abril 2020.

FIVERR. **I will create best flutter UI for you**. FIVERR, 2020. Disponível em: <<https://www.fiverr.com/miteshchodvadiy/best-flutter-ui-templates>>. Acesso em: 31 maio 2020.

FLUTTER. **Flutter: the first UI platform designed for ambient computing**. Google Developers, 2019. Disponível em: <<https://developers.googleblog.com/2019/12/flutter-ui-ambient-computing.html?m=1>>. Acesso em: 26 abril 2020.

FREEMAN. **What is JSON? A better format for data exchange**. INFOWORLD, 2019. Disponível em: <<https://www.infoworld.com/article/3222851/what-is-json-a-better-format-for-data-exchange.html>>. Acesso em: 31 maio 2020.

GAEA. **Entenda o que é Framework.** GAEA. Disponível em: <<https://gaea.com.br/entenda-o-que-e-framework/>>. Acesso em: 31 maio 2020.

GALLO, BERNARDO. **Dark House: Manejo x desempenho frente ao sistema tradicional.** Avicultura, 2009. Disponível em: <<https://pt.engormix.com/avicultura/artigos/dark-house-manejo-t36773.htm>>. Acesso em: 04 abril 2020.

GAMA. **Protótipo de Estação Controle de Temperatura e Umidade usando Arduino.** FACH Hortolândia, 2016. Disponível em: <<http://conic-semesp.org.br/anais/files/2017/trabalho-1000026319.pdf>>. Acesso em: 20 abril 2020.

GITHUB. **Built for Developers.** GITHUB, 2020. Disponível em: <<https://github.com/>>. Acesso em: 25 abril 2020.

IOPE. **Princípio de Funcionamento.** IOPE. Disponível em: <[http://www.iopeservice.iope.com.br/p\\_um\\_sens\\_b.php](http://www.iopeservice.iope.com.br/p_um_sens_b.php)>. Acesso em: 30 maio 2020.

KOCHINSKI; GLOVASKI; CORDEIRO; LEITE. **Aprendendo Física Através de Sensor Ultrassônico.** Sistema Olimpo. Disponível em: <<http://sistemaolimp.org/midias/uploads/09426ee4ef80ff00957edea568cb064f.pdf>>. Acesso em: 20 abril 2020.

LAPORTA. **LoRaWAN: a tecnologia que pode impulsionar a Internet das Coisas.** BUSINESS SERVICES, 2018. Disponível em: <<https://www.orange-business.com/br/blogs/lorawan-tecnologia-que-pode-impulsionar-internet-das-coisas>>. Acesso em: 26 maio 2020.

LORA ALLIANCE. **A technical overview of LoRa® and LoRaWAN™.** LORA ALLIANCE, 2015. Disponível em: <[https://www.tuv.com/media/corporate/products\\_1/electronic\\_components\\_and\\_lasers/TUeV\\_Rheinland\\_Overview\\_LoRa\\_and\\_LoRaWANtmp.pdf](https://www.tuv.com/media/corporate/products_1/electronic_components_and_lasers/TUeV_Rheinland_Overview_LoRa_and_LoRaWANtmp.pdf)>. Acesso em: 25 maio 2020.

MEDEIROS. **Desenvolvimento de um Sistema de Aquisição de Dados em Rede Híbrida de Comunicação de uma Planta Hidráulica focado em LoRa.** UFP, 2018. Disponível em: <[http://www.cear.ufpb.br/arquivos/cgee/TCC/TCC\\_-\\_Emmanuel\\_Leite\\_de\\_Medeiros\\_-\\_Vers%C3%A3o\\_Final.pdf](http://www.cear.ufpb.br/arquivos/cgee/TCC/TCC_-_Emmanuel_Leite_de_Medeiros_-_Vers%C3%A3o_Final.pdf)>. Acesso em: 25 maio 2020.

MENDES, CAROLINE. **No acumulado do ano exportações crescem 8,7%.** Avicultura Industrial, 2020. Disponível em: <<https://www.aviculturaindustrial.com.br/imprensa/no-acumulado-do-ano-exportacoes-crescem-87/20200403-104503-K359>>. Acesso em: 04 abril 2020.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **Fome aumenta no mundo e atinge 820 milhões de pessoas, diz relatório da ONU.** Nações Unidas Brasil, 2020. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/fome-aumenta-no-mundo-e-atinge-820-milhoes-de-pessoas-diz-relatorio-da-onu/>>. Acesso em: 03 abril 2020.



NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **População mundial deve chegar a 9,7 bilhões de pessoas em 2050, diz relatório da ONU.** Nações Unidas Brasil, 2019. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/populacao-mundial-deve-chegar-a-97-bilhoes-de-pessoas-em-2050-diz-relatorio-da-onu/>>. Acesso em: 03 abril 2020.

NETO; MONTEIRO; QUEIROGA. **Aplicabilidade dos Microcontroladores em Inovações Tecnológicas.** VIICONNEPI, 2012. Disponível em: <<http://propi.ifto.edu.br/ocs/index.php/connepi/vii/paper/viewFile/2433/2526>>. Acesso em: 14 abril 2020.

NUNES. **Sensores e transdutores.** UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Disponível em: <[https://wiki.sj.ifsc.edu.br/wiki/images/8/89/Aula\\_1\\_-\\_Sensores.pdf](https://wiki.sj.ifsc.edu.br/wiki/images/8/89/Aula_1_-_Sensores.pdf)>. Acesso em: 26 maio 2020.

PENIDO; TRINDADE. **Microcontroladores.** Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, 2013. Disponível em: <[http://estudio01.proj.ufsm.br/cadernos/ifmg/tecnico\\_automacao\\_industrial/microcontroladores.pdf](http://estudio01.proj.ufsm.br/cadernos/ifmg/tecnico_automacao_industrial/microcontroladores.pdf)>. Acesso em: 14 abril 2020.

ROSA. **Árvore do Conhecimento – Frango de Corte.** AGEITEC. Disponível em: <[https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/frango\\_de\\_corte/arvore/CONT000fc6f3kww02wx5eo0a2ndxy2p18gdt.html](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/frango_de_corte/arvore/CONT000fc6f3kww02wx5eo0a2ndxy2p18gdt.html)>. Acesso em: 16 maio 2020.

ROSA. **IMPLANTAÇÃO DE ILUMINAÇÃO POR LÂMPADAS DE LED NA PRODUÇÃO DE FRANGOS DE CORTE.** UFGD. Disponível em: <<http://files.ufgd.edu.br/arquivos/arquivos/78/MESTRADO-AGRONEGOCIOS/IMPLANTA%C3%87%C3%83O%20DE%20ILUMINA%C3%87%C3%83O%20POR%20L%C3%82MPADAS%20DE%20LED%20NA%20PRODU%C3%87%C3%83O%20DE%20FRANGOS%20DE%20CORTE.pdf>>. Acesso em: 24 maio 2020.

ROUSE. **Advanced Encryption Standard (AES).** TECHTARGET, 2020. Disponível em: <<https://searchsecurity.techtarget.com/definition/Advanced-Encryption-Standard>>. Acesso em: 25 maio 2020.

ROHDE & SCHWARZ. **Testes de consumo de energia da IoT.** ROHDE & SCHWARZ, 2020. Disponível em: <[https://www.rohde-schwarz.com/br/solucoes/test-and-measurement/wireless-communication/iot-m2m/iot-power-consumption-testing/tema-testes-de-consumo-de-energia-iot\\_233864.html](https://www.rohde-schwarz.com/br/solucoes/test-and-measurement/wireless-communication/iot-m2m/iot-power-consumption-testing/tema-testes-de-consumo-de-energia-iot_233864.html)>. Acesso em: 22 outubro 2020.

SAATH; FACHINELLO. **Crescimento da Demanda Mundial de Alimentos e Restrições do Fator Terra no Brasil.** Scielo, 2018. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/resr/v56n2/1806-9479-resr-56-02-195.pdf>>. Acesso em: 03 abril 2020.

SANTANA. **Flutter: porque você deveria apostar nesta tecnologia.** TABLELESS, 2019. Disponível em: <<https://tableless.com.br/flutter-porque-investir-nessa-tecnologia/>>. Acesso em: 26 abril 2020.

SEAL. **Sistema de Transmissão sem fio.** PUC-RIO. Disponível em: <[https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/5387/5387\\_4.PDF](https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/5387/5387_4.PDF)>. Acesso em: 24 maio 2020.

SEMTECH. **What is LoRa®?** SEMTECH, 2020. Disponível em: <<https://www.semtech.com/lora/what-is-lora>>. Acesso em: 12 abril 2020.

SWATCHAI. **Firestore Realtime Database Arduino Library for ESP32.** GITHUB, 2019. Disponível em: <<https://github.com/mobizt/Firebase-ESP32>>. Acesso em: 25 abril 2020.

TEIXEIRA; ALMEIDA. **Rede LoRa® e Protocolo LoraWan® Aplicados na Agricultura de Precisão no Brasil.** UTFPR, 2017. Disponível em: <[http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/8436/1/PG\\_COELE\\_2017\\_2\\_01.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/8436/1/PG_COELE_2017_2_01.pdf)>. Acesso em: 12 abril 2020.

TELECO. **Regulação do Espectro: Uso Não-Licenciado.** TELECO. Disponível em: <[https://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialespecradio/pagina\\_2.asp](https://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialespecradio/pagina_2.asp)>. Acesso em: 25 maio 2020.

TORTELI; ZAGO. **Análise das Construções de Galpões para a Implantação do Sistema Dark House em Aviários da Região Oeste de Santa Catarina.** Siepe, 2017. Disponível em: <<https://portalperiodicos.unoesc.edu.br/siepe/article/view/14773/7620>>. Acesso em: 04 abril 2020.

VASCONCELOS; BASSI; SILVA. **Caracterização das Tecnologias e Inovação na Cadeia Produtiva do Frango de Corte no Brasil.** Unisul, 2017. Disponível em: <[http://www.unisul.br/wps/wcm/connect/45e0b90c-2f0a-450c-a1c7-883eb45ba2ac/artigo\\_gt-adm\\_marta-nadia-christian\\_vii-spi.pdf?MOD=AJPERES](http://www.unisul.br/wps/wcm/connect/45e0b90c-2f0a-450c-a1c7-883eb45ba2ac/artigo_gt-adm_marta-nadia-christian_vii-spi.pdf?MOD=AJPERES)>. Acesso em: 04 abril 2020.

WENDLING. **Sensores.** UNESP, 2010. Disponível em: <<https://www.feg.unesp.br/Home/PaginasPessoais/ProfMarceloWendling/4---sensores-v2.0.pdf>>. Acesso em: 19 abril 2020.

TINÔCO, I.F.F. **Avicultura Industrial: Novos Conceitos de Materiais, Concepções e Técnicas Construtivas Disponíveis para Galpões Avícolas Brasileiros.** Revista Brasileira de Ciência Avícola. Campinas, v.3, n.1, p1-26, janeiro 2001.

TZONE DIGITAL TECHNOLOGY. **IoT Agriculture strawberry monitoring temp and humidity in greenhouse and warehouse.** ALIBABA. Disponível em: <[https://www.alibaba.com/product-detail/IoT-Agriculture-strawberry-monitoring-temp-and\\_60683738797.html](https://www.alibaba.com/product-detail/IoT-Agriculture-strawberry-monitoring-temp-and_60683738797.html)>. Acesso em: 23 outubro 2020.

VIEIRA; SANTOS; CARVALHO; DIAS; LABOISSIÈRE; FILHO. **Viabilidade econômica dos aviários Dark House e Convencional.** CEPE. Disponível em: <<https://www.anais.ueg.br/index.php/cepe/article/view/10043/7167>>. Acesso em: 19 maio 2020.

3141 THRU DATASHEET. **Sensitive Hall-Effect Switches For High-Temperature Operation.** FELIPEFLOP. Disponível em: <[https://img.filipeflop.com/files/download/Datasheet\\_Sensor\\_Hall.pdf](https://img.filipeflop.com/files/download/Datasheet_Sensor_Hall.pdf)>. Acesso em: 20 abril 2020.