

U.C. de Projeto Integrado de

Telecomunicações

Ano Letivo: **2021/2022**

**Relatório da Fase A**

**Grupo 2**

* Catarina Neves, a93088
* Eduardo Cardoso, a89627
* José Gomes, a93083
* Luís Oliveira, a89380

23/03/2022

Universidade do Minho

Mestrado Integrado em Engenharia de Telecomunicações e Informática

Índice

[1. Introdução 5](#_Toc98891184)

[2. Trabalho Relacionado 6](#_Toc98891185)

[2.1 ESP32 BLE Server and Client 6](#_Toc98891186)

[2.2 ESP32 BLE – Connecting to Fitness Band to Trigger a Bulb 7](#_Toc98891187)

[3. Etapas do trabalho desenvolvido 8](#_Toc98891188)

[3.0. Montagem Eletrónica 8](#_Toc98891189)

[3.1. Aquisição das amostras dos sensores para o sistema sensor 9](#_Toc98891190)

[3.2. Conversão e processamento dos valores obtidos nos sensores 11](#_Toc98891191)

[3.3. Apresentação dos dados recolhidos em tempo real 12](#_Toc98891192)

[3.4. Transmissão dos dados via BLE para o gateway 12](#_Toc98891193)

[3.5. Envio dos dados via Wi-Fi para visualização e armazenamento online 13](#_Toc98891194)

[4. Análise de resultados e testes efetuados 15](#_Toc98891195)

[5. Conclusão 18](#_Toc98891196)

[5.1. Contribuição de cada aluno 18](#_Toc98891197)

[6. Lista de Referências 19](#_Toc98891198)

Índice de figuras

Figura 1 - Tarefas propostas pela fase A 5

Figura 2 - Circuito implementado pelo autor 6

Figura 3 - Esquema eletrónico desenhado pelo autor 7

Figura 4 - Circuito implementado pelo autor 7

Figura 5 - Diagrama eletrónico dos componentes 8

Figura 6 - Sistema sensor: sensores e variáveis associadas 9

Figura 7 - Bibliotecas importadas pelo Sistema Sensor 9

Figura 8 - Função responsável pela aquisição dos dados meteorológicos 10

Figura 9 - Processamento dos dados obtidos na etapa anterior 11

Figura 10 - Acesso à humidade e temperatura através da variável event 11

Figura 11 - Apresentação dos dados no terminal Serial Monitor do Arduino 12

Figura 12 - Comunicação via BLE entre Sensor e Gateway 12

Figura 13 - Configuração das propriedades do BLE 12

Figura 14 - Envio de dados pelo gateway para o servidor online ThingSpeak 13

Figura 15 - Bibliotecas importadas pelo Gateway 13

Figura 16 - Função responsável pelo envio de dados para o ThingSpeak 14

Figura 17 - Serial Monitor do Sistema Sensor 15

Figura 18 - Serial Monitor do Gateway 15

Figura 19 - Variação da temperatura 16

Figura 20 - Variação da humidade 16

Figura 21 - Variação da pressão atmosférica 17

Figura 22 – Campos e detalhes da base de dados 17

Figura 23 – Detalhes e composição de uma determinada amostra 17

Lista de siglas e acrónimos

**API** *Application Programming Interface*

**BLE** *Bluetooth Low Energy*

**IDE** *Integrated Development Environment*

**MP3** MPEG *Layer* 3

**SI** Sistema Internacional

**UUID** *Universally Unique Identifier*

**OLED** *Organic light-emitting diode*

**JSON** *JavaScript Object Notation*

# Introdução

Serve o presente relatório como síntese do trabalho desenvolvido e implementado no decorrer desta fase. Este contém a descrição das estratégias e algoritmos adotados pelo grupo como também os testes realizados. Além dos tópicos acima citados, faz-se referência a trabalhos ou projetos similares, que se enquadram na ótica deste projeto.

O relatório abordará cada etapa desta fase de forma detalhada, ou seja, será apresentada a resposta ou proposta de solução empregue pelo grupo em junção com as ferramentas, que foram necessárias à sua construção.

O diagrama seguinte ilustra o sumário das diferentes tarefas propostas nesta fase.

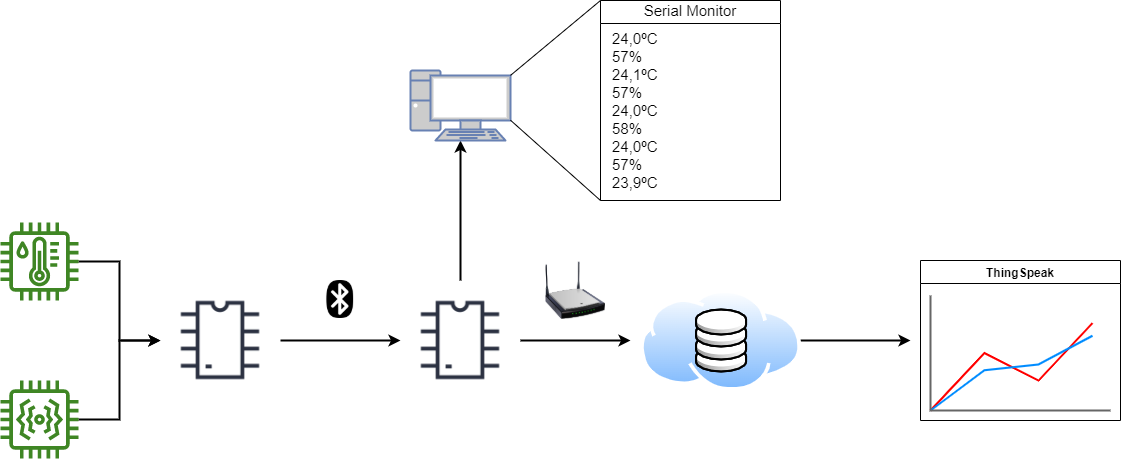


Figura 1 - Tarefas propostas pela fase A

# Trabalho Relacionado

Relativamente aos trabalhos relacionados, enquadram-se os projetos seguintes, que serviram de base à construção deste projeto.

## 2.1 ESP32 BLE Server and Client

Este projeto, da autoria de Rui Santos [1], consiste num sistema de monitorização de estações meteorológicas, que assenta no modelo Cliente-Servidor.

O sistema sensor/servidor é conectado ao sensor BME280 [2], que lida com os seguintes sinais: temperatura ambiente e humidade relativa do ar. Os sinais referidos são atualizados a cada trinta segundos.

O cliente é conectado ao servidor BLE (*Bluetooth Low Energy)*, que é notificado sempre que o sistema sensor adquire um novo conjunto de valores (temperatura e humidade). Além das propriedades referidas, a placa ESP32 [3] (Cliente) é ligada a um OLED (*Organic light-emitting diode)*, que imprime a amostra de valores recebida.

A figura seguinte ilustra o circuito implementado pelo respetivo autor.

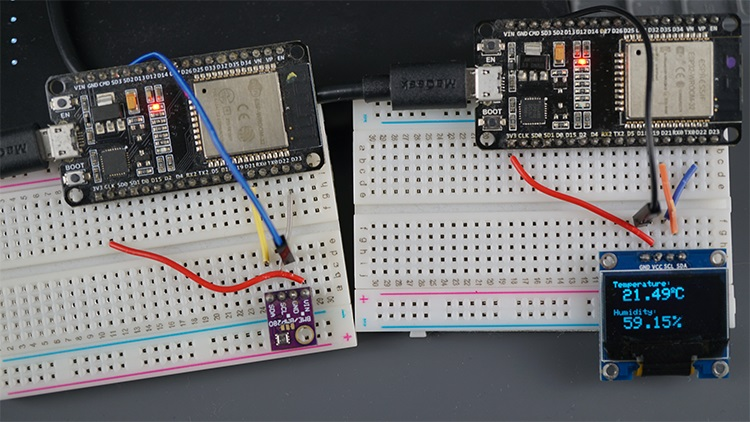


Figura 2 - Circuito implementado pelo autor

Para testar o sistema sensor e a fiabilidade da respetiva comunicação BLE com o respetivo cliente, o autor recorreu ao terminal *Serial Monitor* e a uma aplicação para *smartphone,* isto é, um BLE *scanner*.

O terminal citado imprimiu as várias amostras recolhidas, como também, mensagens de diagnóstico da ligação.

## 2.2 ESP32 BLE – Connecting to Fitness Band to Trigger a Bulb

Este projeto, da autoria de Aswinth Raj, é baseado na seguinte lógica: qualquer pessoa que carregue ou esteja a usar uma pulseira fitness e que passe relativamente perto de uma placa ESP32; caso a gama de frequências da pulseira se enquadre no espetro da placa, esta deteta-a e por consequência acende uma luz.

Este sistema é baseado no modelo Cliente-Servidor: a pulseira fitness desempenha o papel de servidor e a placa referida atua como cliente.

A figura seguinte ilustra o esquema eletrónico planeado pelo autor.

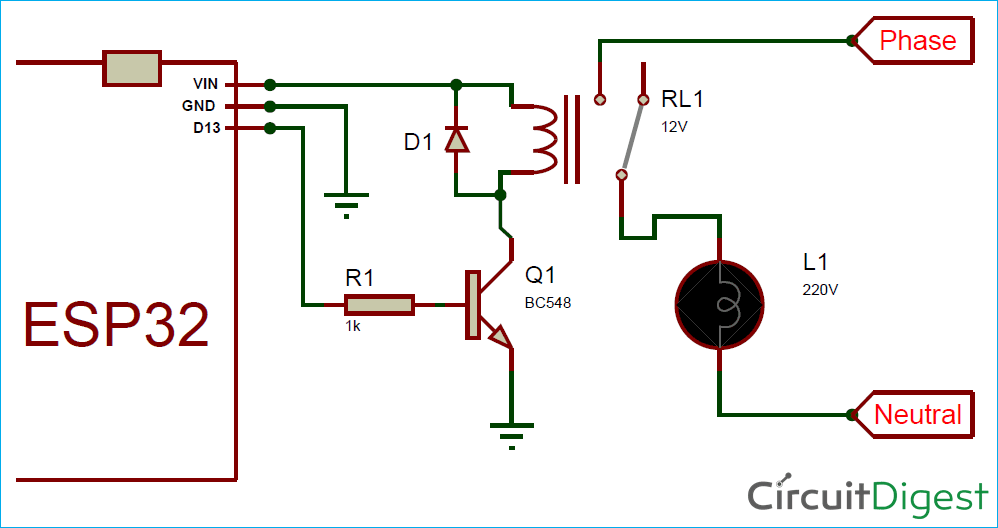
**

Figura 3 - Esquema eletrónico desenhado pelo autor

O *hardware* utilizado é simples, pelo que, grande parte da “magia” ocorre dentro do código. A placa ESP32 acende ou desliga a lâmpada, respetivamente, quando o sinal *Bluetooth* é detetado ou perdido.

Os estados da lâmpada (aceso ou desligado) são coordenados através de um relé. O relé, utilizado pelo autor, opera com uma tensão de cinco volts.

Tal como o projeto referido anteriormente, para obter o serviço e o respetivo UUID do servidor, o autor recorreu a uma aplicação para *smartphone,* nomeadamente, um BL*E scanner*. Os parâmetros recolhidos são necessários à implementação dos códigos servidor e cliente.

Através do esquema eletrónico, o autor construiu o circuito seguinte, que é a versão final do sistema.

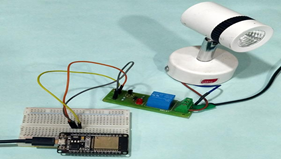


Figura 4 - Circuito implementado pelo autor

# Etapas do trabalho desenvolvido

Esta secção contém todas as etapas necessárias ao desenvolvimento desta fase, que se encontram descritas pelos mecanismos, ferramentas utilizadas e algoritmos implementados pelo grupo.

## 3.0. Montagem Eletrónica

A figura seguinte ilustra a montagem eletrónica efetuada pelo grupo. As ligações entre os componentes foram efetuadas com apoio aos *datasheets* [3][4][2] *correspondentes*.

Através da sua análise, é possível identificar os componentes eletrónicos utilizados: placa ESP32 e os sensores: DHT11e BME280.

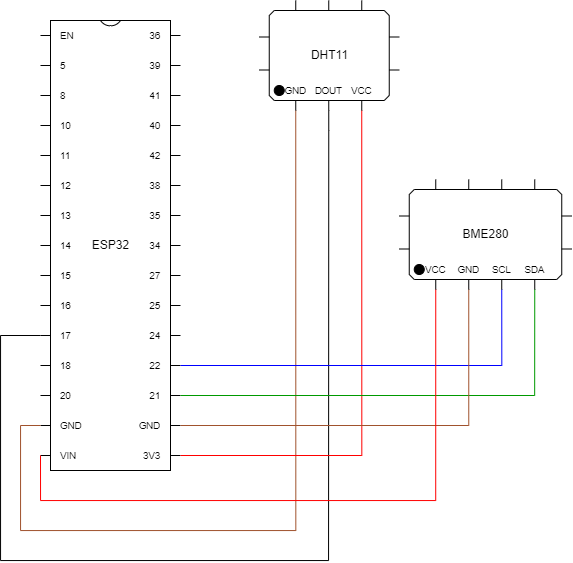


Figura 5 - Diagrama eletrónico dos componentes

## 3.1. Aquisição das amostras dos sensores para o sistema sensor

A figura seguinte ilustra as diferentes variáveis meteorológicas utilizadas, em junção com os sensores, responsáveis pelo seu processamento.

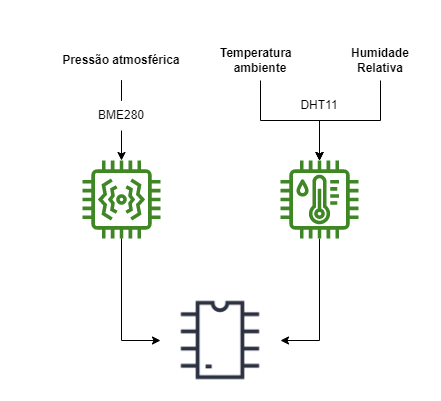


Figura 6 - Sistema sensor: sensores e variáveis associadas

O objetivo desta etapa é a recolha de dados através dos sensores e a respetiva transferência para o sistema sensor, como é representado na figura 5.

As variáveis acima apresentadas foram obtidas com recurso aos componentes eletrónicos (DHT11 e BME280).

Dentro do código do sistema sensor através da importação de um conjunto de bibliotecas, que operam com os sensores descritos, é possível recolher várias amostras de valores associados a essas variáveis.

A tabela seguinte ilustra todas as bibliotecas necessárias à implementação do sistema sensor.

|  |  |
| --- | --- |
| **Sistema Sensor** | |
| *Bluetooth Low Energy* | Componentes: DHT11 e BME280 |
| <BLEDevice.h> | <DHT.h> |
| <BLEServer.h> | <DHT\_U.h> |
| <BLEUtils.h> | <Adafruit\_Sensor.h> |
| <BLE2902.h> | <Adafruit\_BME280.h> |

Figura 7 - Bibliotecas importadas pelo Sistema Sensor

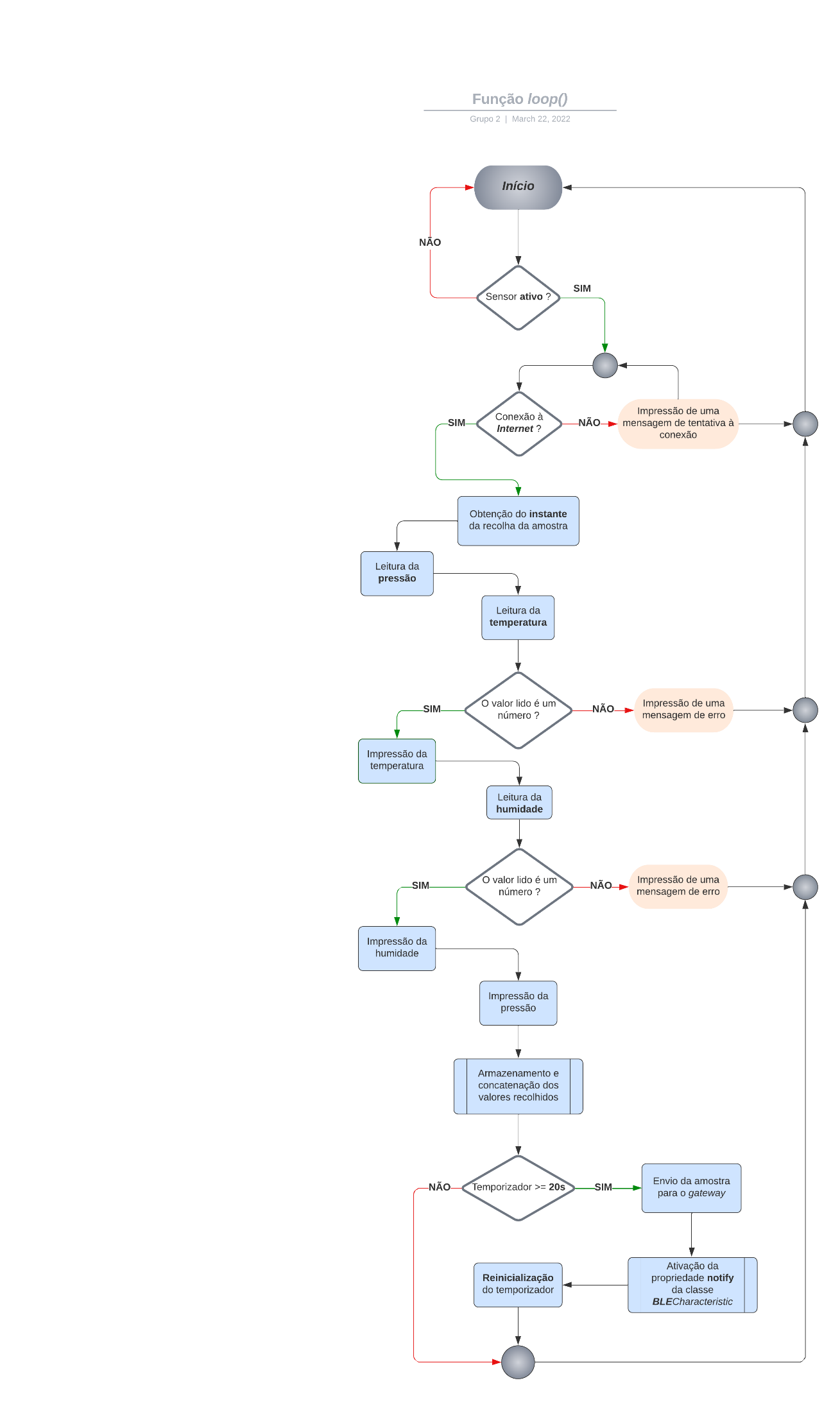
A aquisição dos dados meteorológicos é realizada dentro de uma determinada função; o algoritmo implementado pela mesma ser traduzido de acordo com o fluxograma seguinte:

Figura 8 - Função responsável pela aquisição dos dados meteorológicos

## 3.2. Conversão e processamento dos valores obtidos nos sensores

O diagrama seguinte representa a sequência de passos necessários ao processamento e conversão dos valores recolhidos nos sensores.

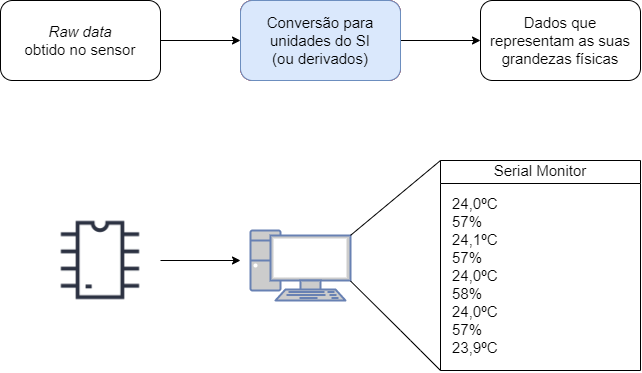


Figura 9 - Processamento dos dados obtidos na etapa anterior

A variável *event* é responsável pela conversão dos valores lidos para a unidade do SI (Sistema Internacional) associada, ou seja, equivale ao bloco azul representado na figura 8. É de realçar que a variável referida faz a conversão de forma automática.

Para aceder à temperatura ou humidade obtida, é necessário evocar o parâmetro pretendido, que é intrínseco a esta variável (circunferências a vermelho).

Uma imagem com texto

Descrição gerada automaticamente

Figura 10 - Acesso à humidade e temperatura através da variável event

## 3.3. Apresentação dos dados recolhidos em tempo real

Como forma de validação e avaliação dos valores recolhidos, sempre que o sensor obtém uma nova amostra, esta é impressa no terminal *serial monitor.* O intervalo de tempo entre as diversas impressões, depende do período de amostragem, que pode ser ajustado, sendo de momento, *hardcoded*. A razão para incluirmos este valor *hardcoded* no nosso protocolo é porque foi-nos requisitado a implementação desta maneira, podendo assim visualizar em tempo real a progressão dos dados.

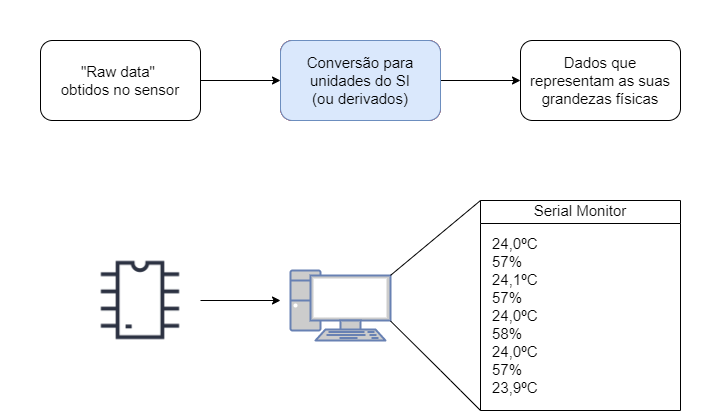


Figura 11 - Apresentação dos dados no terminal Serial Monitor do Arduino

A apresentação dos dados recolhidos encontra-se num formato visualmente acessível, de forma local e em tempo real. Deste modo, a cada um segundo (período de amostragem) o Arduino irá imprimir no terminal *serial monitor* todos os dados meteorológicos, para que possam ser analisados, posteriormente, pelos utilizadores.

## 3.4. Transmissão dos dados via BLE para o gateway

Nesta sub-etapa, é assegurada a transmissão de dados entre os dois Arduinos via BLE (*Bluetooth Low Energy*), sendo exemplificada pela figura seguinte.

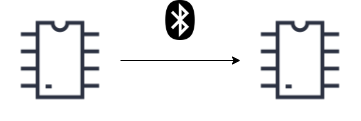


Figura 12 - Comunicação via BLE entre Sensor e Gateway

Através das bibliotecas referidas na figura 6, foi possível declarar e inicializar um conjunto de objetos responsáveis pela comunicação BLE. Cada objeto atua e opera com cada propriedade/parâmetro do BLE.

Uma imagem com texto

Descrição gerada automaticamenteConfigurou-se o sistema sensor de forma a operar de acordo com a propriedade *notify,* que quando ativada, permite ao servidor usar a operação *Handle Value Notification* nos atributos do BLE. Também se definiu um UUID (*Universally Unique Identifier*), que é partilhado pelo sistema sensor e *gateway*.

Figura 13 - Configuração das propriedades do BLE

## 3.5. Envio dos dados via Wi-Fi para visualização e armazenamento online

Nesta etapa, o *gateway* usufrui de comunicação Wi-Fi para enviar toda informação recolhida, de forma periódica, para um servidor online *ThingSpeak* [5].Este servidor serve de armazenamento e ferramenta de apresentação e desenho de gráficos, assim, é possível visualizar de forma mais pormenorizada os dados obtidos pelos sensores.

Uma imagem com texto

Descrição gerada automaticamente

Figura 14 - Envio de dados pelo gateway para o servidor online ThingSpeak

Dentro do código do *gateway*, através da importação de um conjunto de bibliotecas, que operam com a comunicação Wi-Fi, BLE e com o servidor *online* é possível enviar toda a informação recolhida pelos sensores para o respetivo servidor, tal como foi citado no parágrafo anterior.

Da mesma forma que a comunicação para o sistema sensor, também a comunicação para o gateway tem as suas especificações por *design*, sendo que, neste caso, o sistema sensor só vai enviar os dados passados 20 segundos, período esse que será usado também para o envio posterior do gateway para o *ThingSpeak*.

A tabela seguinte ilustra todas as bibliotecas necessárias à implementação do gateway, onde os diferentes mecanismos empregues, encontram-se organizados de acordo com as respetivas colunas.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Gateway** | | |
| Bluetooth Low Energy | Wi-Fi | ThingSpeak |
| <BLEDevice.h> | <WiFi.h> | <ThingSpeak.h> |
|  | <WiFiAP.h> | "ThingSpeak.h" |
|  | <WiFiClient.h> |  |
|  | <WiFiGeneric.h> |  |
|  | <WiFiMulti.h> |  |
|  | <WiFiScan.h> |  |
|  | <WiFiServer.h> |  |
|  | <WiFiSTA.h> |  |
|  | <WiFiType.h> |  |
|  | <WiFiUdp.h> |  |

Figura 15 - Bibliotecas importadas pelo Gateway

Relativamente ao envio dos dados obtidos, este é realizado dentro de uma determinada função; o algoritmo implementado pela mesma pode ser traduzido de acordo com o fluxograma seguinte:

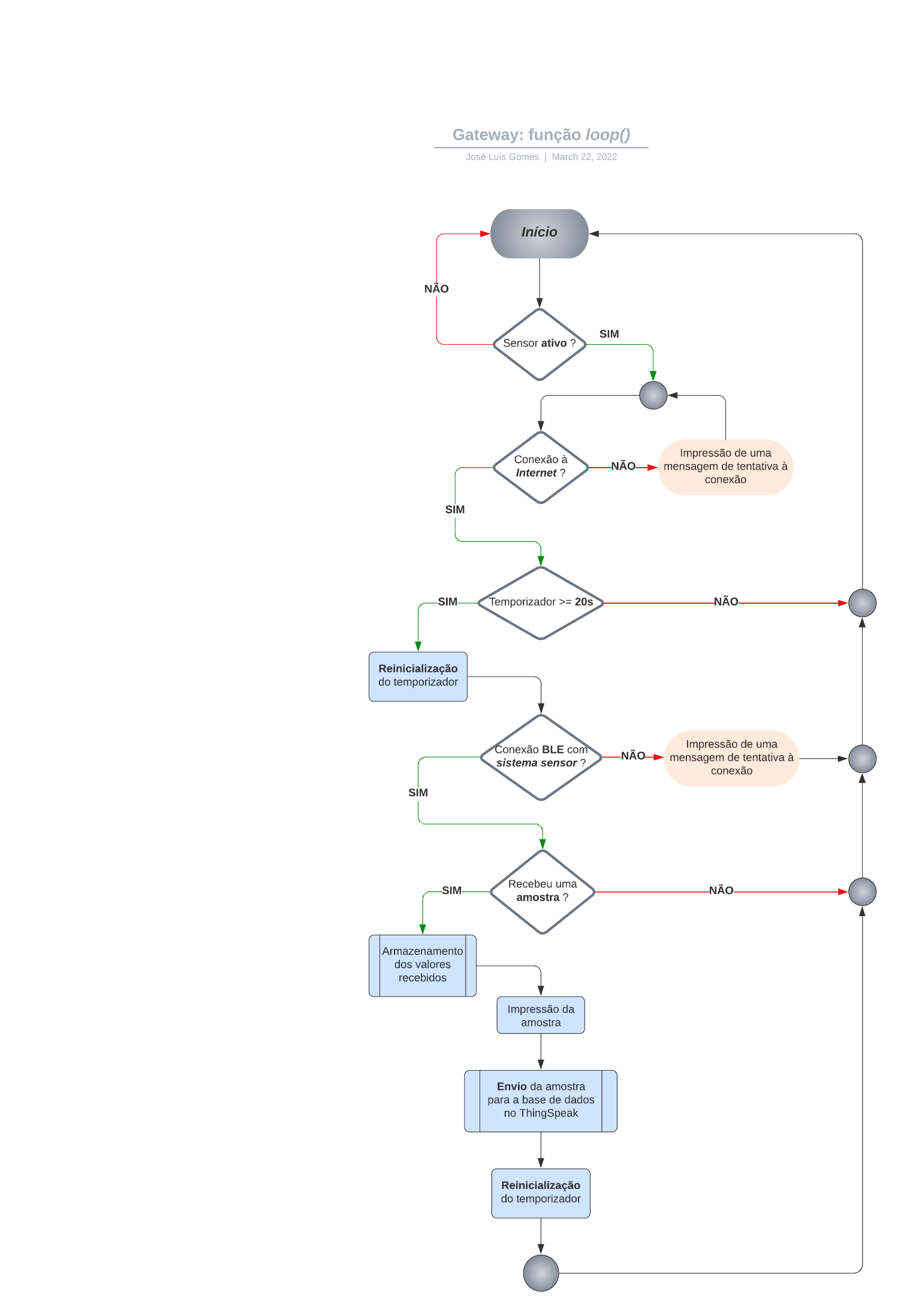


Figura 16 - Função responsável pelo envio de dados para o ThingSpeak

# Análise de resultados e testes efetuados

De forma a retificar o funcionamento e o comportamento dos protocolos implementados, colocou-se o sistema sensor e o *gateway* em comunicação, com o intuito de simular a transição de dados entre estas entidades.

Os resultados obtidos encontram-se demonstrados nas figuras 17 e 18. Para cada amostra, é impresso o instante de recolha da amostra em junção com os valores das variáveis recolhidas, na grandeza física correspondente.

A figura 17 ilustra a execução do sistema sensor; através da análise da mesma, é possível visualizar o envio de dados para o *gateway,* a cada 1 segundo.

Uma imagem com texto

Descrição gerada automaticamente

Figura 17 - Serial Monitor do Sistema Sensor

Relativamente ao gateway, a cada 20 segundos, recebe uma amostra, que foi enviada pelo sistema sensor, tal como demonstrado na figura 18.

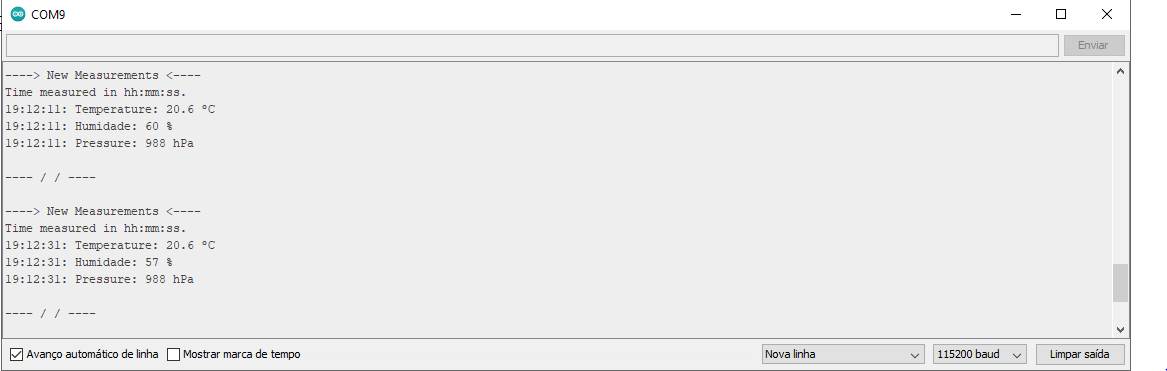


Figura 18 - Serial Monitor do Gateway

Numa fase mais avançada, estabelecida a ligação com o *ThingSpeak,* as amostras recebidas pelo *gateway* foram redirecionadas para a base de dados *online* (alocada no *ThingSpeak*).

As figuras 19, 20 e 21 retratam a evolução temporal dos valores recolhidos, associados à variável meteorológica respetiva (temperatura, humidade e pressão), no dia 22 de março.

A figura seguinte exibe a evolução temporal da temperatura. A escala da temperatura encontra-se disposta no eixo vertical e a escala temporal no eixo horizontal. Através da análise da figura, conclui-se que a temperatura evolui de forma linear e crescente (a partir do dia 22 de março).

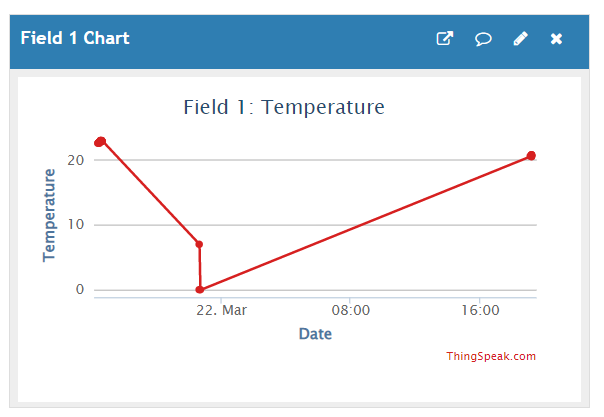


Figura 19 - Variação da temperatura

Em contraste com a figura 19, a figura 20 ilustra a evolução temporal da humidade. A escala da humidade encontra-se disposta no eixo vertical e a escala temporal no eixo horizontal. Através da análise da figura, conclui-se que a humidade evolui de forma, aproximadamente linear, contudo, de forma decrescente.

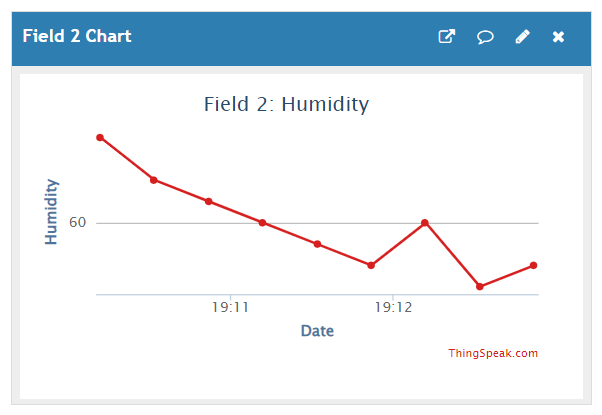


Figura 20 - Variação da humidade

A figura 21 apresenta a evolução temporal da pressão atmosférica. A escala da pressão atmosférica encontra-se disposta no eixo vertical e a escala temporal no eixo horizontal.

Através da análise da figura, tal como é evidenciado no gráfico da humidade, a pressão também evolui de forma e decrescente.

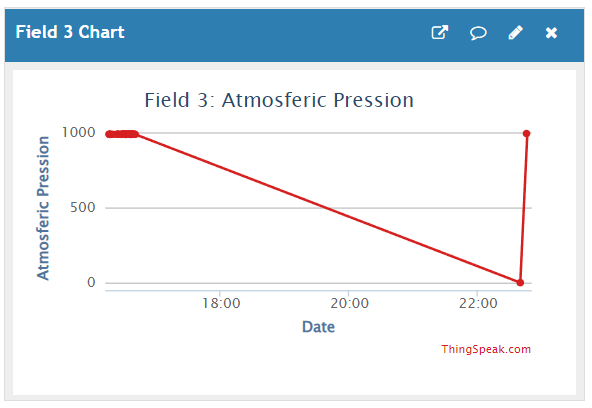


Figura 21 - Variação da pressão atmosférica

Para efetuar uma análise mais detalhada da amostra recolhida, recorreu-se ao formato JSON (*JavaScript Object Notation*), que é responsável pela organização e indentação do conteúdo da amostra.

A figura 22 mostra os campos e detalhes da base de dados utilizada pelo grupo.

Uma imagem com texto

Descrição gerada automaticamente

Figura 22 – Campos e detalhes da base de dados

A figura 23 apresenta os detalhes de uma amostra registada na base de dados. É possível visualizar o registo temporal em junção com os valores de temperatura, humidade e pressão recolhidos.

Uma imagem com texto

Descrição gerada automaticamente

Figura 23 – Detalhes e composição de uma determinada amostra

# Conclusão

Concluída esta fase, na opinião do grupo, conseguiu-se atingir todos os objetivos propostos. Esta fase contribuiu para o conhecimento e estudo da tecnologia *Bluetooth Low Energy*, como também, as suas aplicações*.*

Para proceder ao estabelecimento da comunicação via BLE, entre o sistema sensor e o gateway, foi necessário estudar as propriedades dessa tecnologia e seguir vários tutorias, relativos à utilização do BLE na placa ESP32.

A comunicação com a base de dados online (armazenada no ThingSpeak) foi conseguida graças à importação, de um conjunto de bibliotecas, desenvolvidas por projeto *open source* [6]*,* que opera com o modelo da placa utilizada*.*

## 5.1. Contribuição de cada aluno

Catarina Neves

* A
* B
* C

Eduardo Cardoso

* A
* B
* C

José Gomes

* Conceção dos algoritmos
* Tradução dos algoritmos implementados em fluxogramas
* Desenvolvimento do relatório

Luís Oliveira

* Criação e configuração da base de dados no ThingSpeak
* Desenho de esquemas e gráficos
* Desenvolvimento do relatório

# Lista de Referências

|  |  |
| --- | --- |
| [1] | R. Santos, “Random Nerd Tutorials,” 16 5 2019. [Online]. Available: https://randomnerdtutorials.com/esp32-bluetooth-low-energy-ble-arduino-ide/. |
| [2] | Bosch, “BME280 Combined humidity and pressure sensor,” setembro 2018. [Online]. Available: https://www.mouser.com/datasheet/2/783/BST-BME280-DS002-1509607.pdf. |
| [3] | Espressif Systems, “ESP32 Series Datasheet,” 2022. [Online]. Available: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32\_datasheet\_en.pdf. |
| [4] | Aosong, “Temperature and humidity module DHT11 Product Manual,” 14 maio 2015. [Online]. Available: https://www.waveshare.com/w/upload/c/c7/DHT11\_datasheet.pdf. |
| [5] | ioBridge, “ThingSpeak for IoT Projects,” 2022. [Online]. Available: https://thingspeak.com/. |
| [6] | afan31, “Github,” 15 12 2020. [Online]. Available: https:/github.com/mathworks/thingspeak-arduino. |
| [7] | R. Aswinth, “Circuit Digest,” 5 10 2018. [Online]. Available: https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/esp32-ble-client-connecting-to-fitness-band-to-trigger-light. |
| [8] | R. Teja, “Eletronics Hub,” 24 3 2021. [Online]. Available: https://www.electronicshub.org/esp32-ble-tutorial/. |