



# Desenvolvimento de Sonda Multiparamétrica Baseada em Sistemas Embebidos para Monitorização de Águas Superficiais e Detecção de Eventos Extremos

Samuel Fernandes<sup>1,2</sup> Alice Fialho<sup>1,2</sup> José Maria<sup>3</sup> Teresa Ferreira<sup>3</sup> Ana Filipa Filipe<sup>3</sup>

1-Agência Portuguesa do Ambiente I.P., Portugal;

2-ARH, Administração da Região Hidrográfica do Alentejo, Portugal;

3-Centro de Estudos Florestais (CEF), Laboratório Associado TERRA, Escola de Agricultura, Universidade de Lisboa, Portugal

# CONTENTS

1. Introdução
2. Descrição sensores e sistema embebido
3. Caracterização dos sensores
4. Calibração
5. Placa de circuito integrado
6. Software
7. Diagrama de Fluxo Sonda Multiparmétrica
8. Protótipo Sonda Multiparamétrica Dashboard Demo
9. Conclusão
10. Trabalho em Desenvolvimento

# 1. Introdução

A monitorização contínua em tempo real dos parâmetros de quantidade e qualidade da água é essencial para a deteção de eventos de poluição, tomada de decisão e gestão eficaz de recursos naturais.

Tradicionalmente a avaliação da qualidade da água é realizada por meio de amostragem direta e em laboratórios

Exigem custos significativos e podem estar sujeitas a potenciais degradações das amostras, erros de transcrição e atrasos temporais

Não permite monitorização contínua nem observação de tendências sazonais

# 1. Introdução

O principal objetivo deste estudo é desenvolver uma sonda multiparamétrica com envio de dados remoto para a avaliação da qualidade e quantidade da água, visando melhorar a precisão dos dados e apoiar a tomada de decisões na gestão de recursos hídricos.

Os objetivos específicos são:

- Determinar a incerteza associada aos sensores de pH, nível de água e condutividade
- Realizar uma calibração dos sensores de pH, condutividade e nível de água
- Projetar e desenvolver uma placa de circuito impresso para a integração dos componentes

## 2. Sensor pH

### pH Probe

- **Intervalo:** 0-14 (Sorensen Scale)
- **Resolução:**  $\pm 0.001$
- **Exatidão:**  $\pm 0.002$
- **Tempo de resposta:** 95% em 1s
- **Ciclo de calibração:** 1 ano
- **Tempo de vida:** 2 anos

### Carrier Board

- **Consumo de energia:** 3.3V, 3 mA
- **Precisão:**  $\pm 2$
- **Tempo de resposta:** Continua

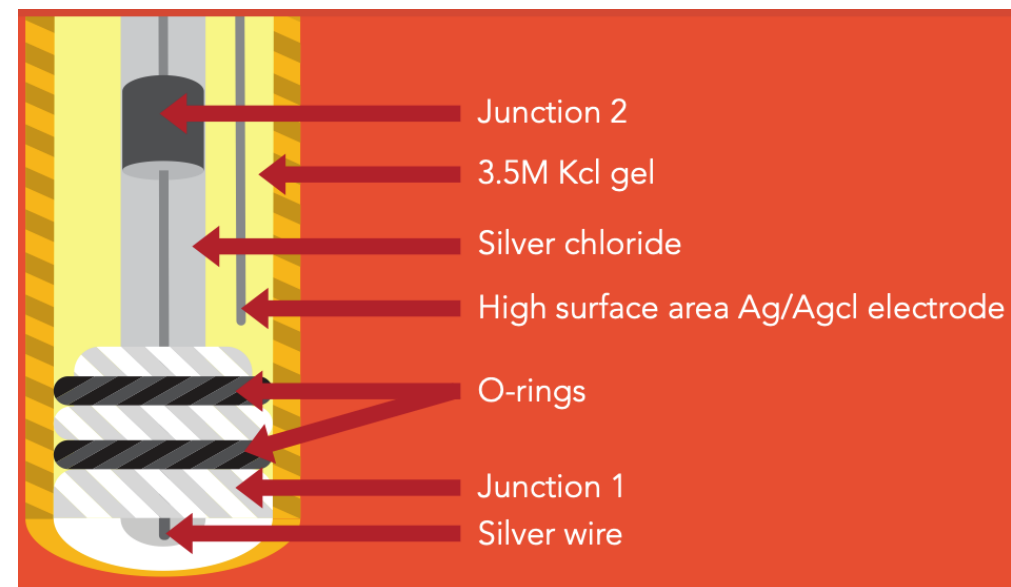


Figura 2. Operating Principle (source: Atlas Scientific)

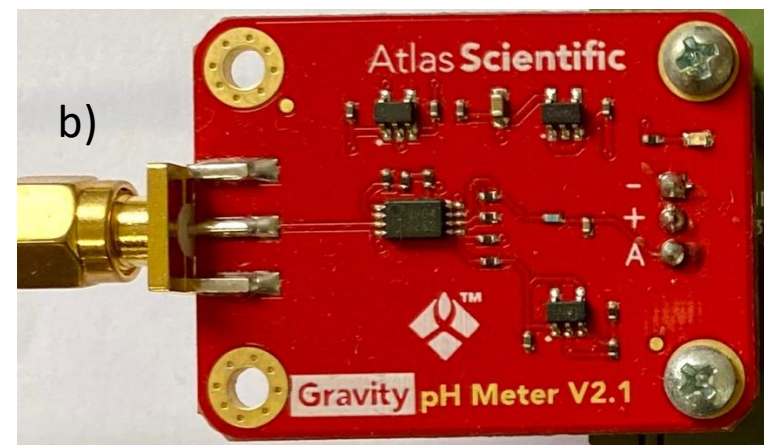


Figura 1. a) Sensor pH, b) pH carrier board



## 2. Sensor Condutividade

### Sensor Condutividade

- Intervalo: 5 – 200,000  $\mu\text{S}/\text{cm}$
- Exatidão:  $\pm 2\%$
- Tempo de Resposta: 90% em 1s
- Ciclo de calibração: 10 anos
- Tempo de vida: 10 anos

### Carrier Board

- Consumo de Energia: 3.3V, 22 mA
- Precisão:  $\pm 2\%$
- Tempo de Resposta: 600 ms
- Calibração: 2 ou 3 pontos

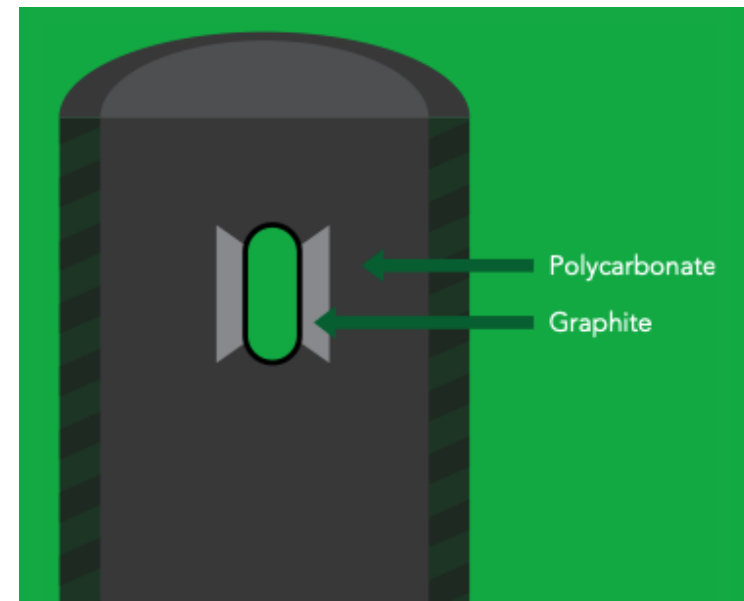


Figura 2. Operating Principle (source: Atlas Scientific)



Figura 1. a) Conductivity probe, b) Conductivity carrier board

## 2. Water Level Sensor

### Sensor Nivel Água

- Intervalo: 0 – 5 m
- Exatidão:  $\pm 0.5\%$
- Tensão: 12-36V
- Corrente: 4-20 mA
- Classe proteção: IP68

### Step-Up

- Tensão máxima de saída: 12-28V
- Eficiência: 93%
- Tensão entrada: 2-24V
- Máximo Corrente saída: 2A



Figura 2. Conversor corrente em tensão

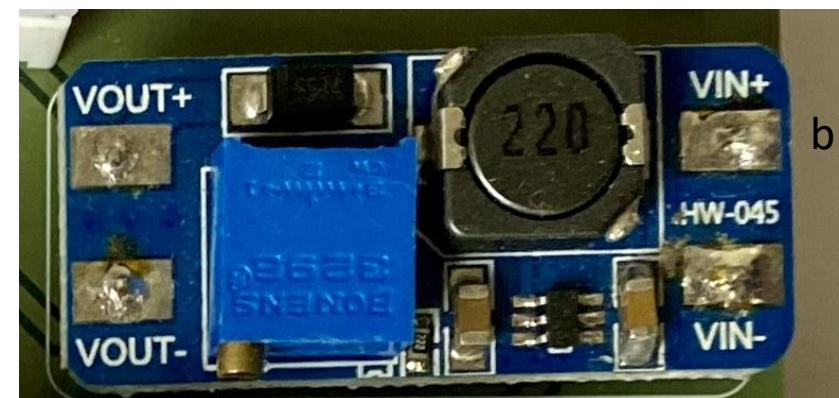


Figura 1. a) Sensor nivel água, b) Step-UP (5V para 12V)

## 2. Temperature Sensor

### Temperature Probe (DS18B20)

- **Intervalo:** -55°C a +125°C
- **Precisão:**  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  em condições -10°C e +85°C
- **Exatidão:**  $\pm 0.5\%$
- **Tensão:** 3-5.5 V
- **ADC:** 12 bit (configurável)
- **Tamanho do cabo:** 5m
- **Interface:** 1 Wire



Figura 1. Temperature probe



## 2. Sistema Embebido

### Lilygo SIM800L T-Call V1.4

- Microcontrolador baseado em um ESP32 (módulo WROVER, processador dual-core de 240 MHz)
  - Possui um módulo SIM800L GSM/GPRS integrado para comunicação de longa distância
  - Apresenta uma conexão para cartão nano SIM
  - Integra uma funcionalidade de *deep-sleep*, que permite colocar a placa em modo de baixo consumo de energia entre as medições
- 
- **Tensão:** 5V DC (via USB-C) or 3.3V DC (via 3V3 pin)
  - **ADC:** Two ACD channels with 12 bit resolution
  - **Protocolos de Comunicação:** SPI, I2C, CAN, and LIN, and UART
  - **Memória Flash:** 4MB
  - **GPIO tensão:** 3.3V\*

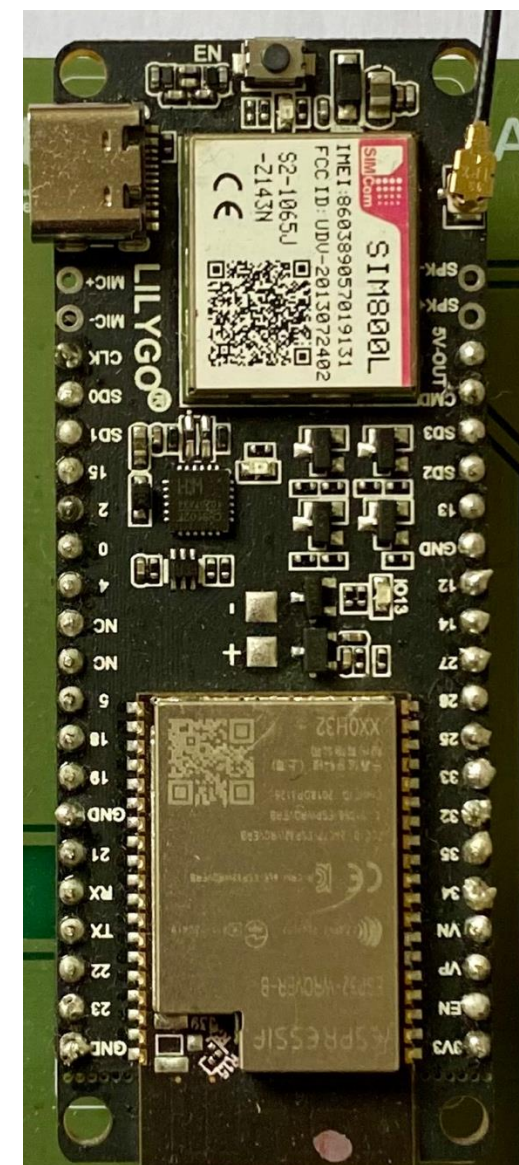
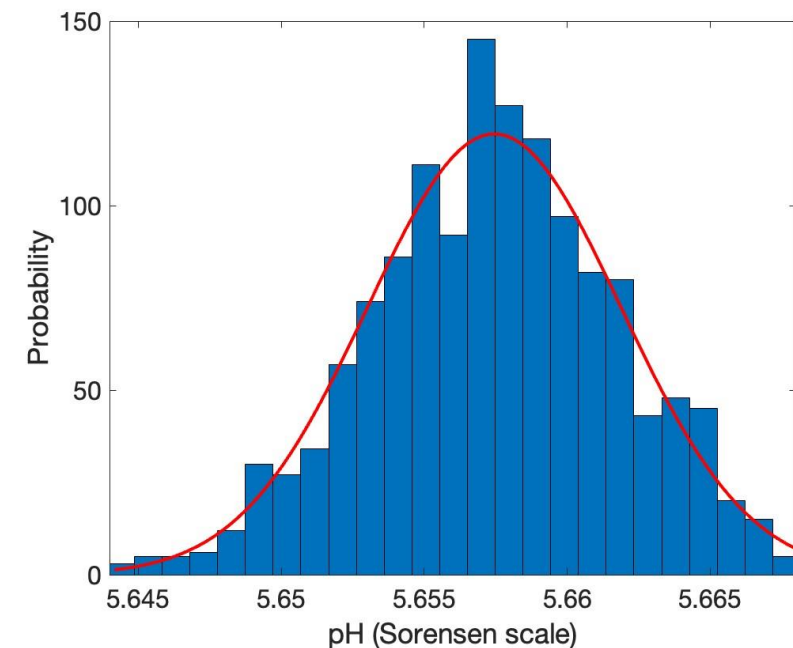


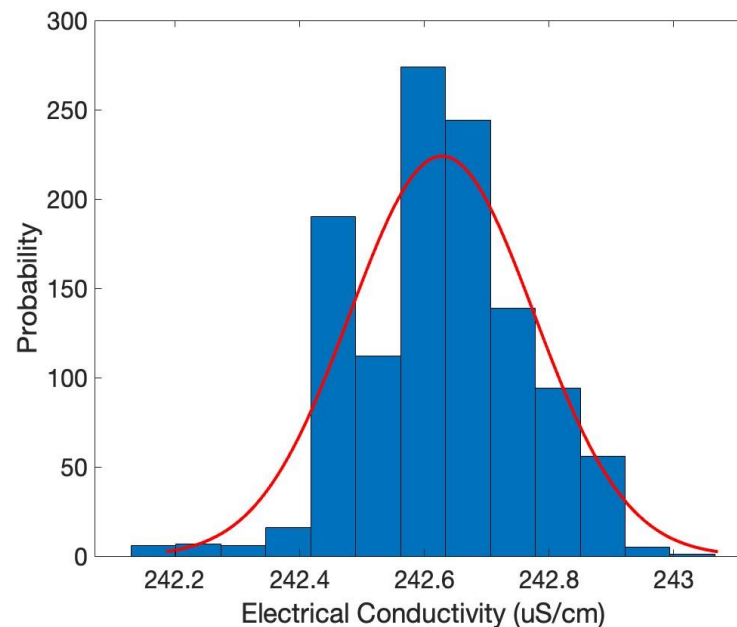
Figura 1. Sistema Embebido Lilygo ESP32+SIM800L

### 3. Caracterização dos Sensores



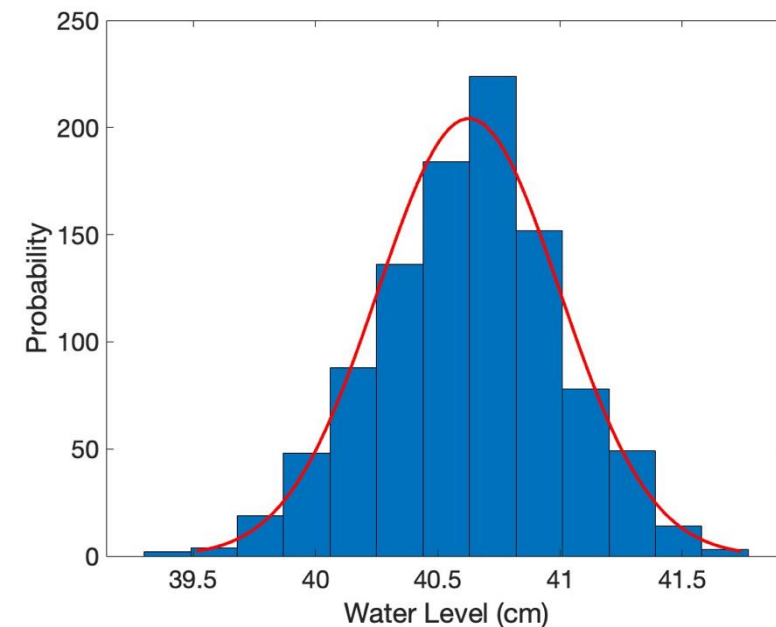
pH

p-value = 0.05



Condutividade Elétrica

p-value = 0.15



Nível Água

p-value = 0.30

Foi realizada uma análise de sensibilidade para caracterizar a Função Densidade de Probabilidade (PDF) dos sensores de pH, condutividade e nível de água.

Distribuição Normal - Jarque-Bera 1000 medidas

## 4. Calibração Sensor pH

Quatro pontos de referência específicos, pH 4, 7, 9 e 10 na escala de Sorensen

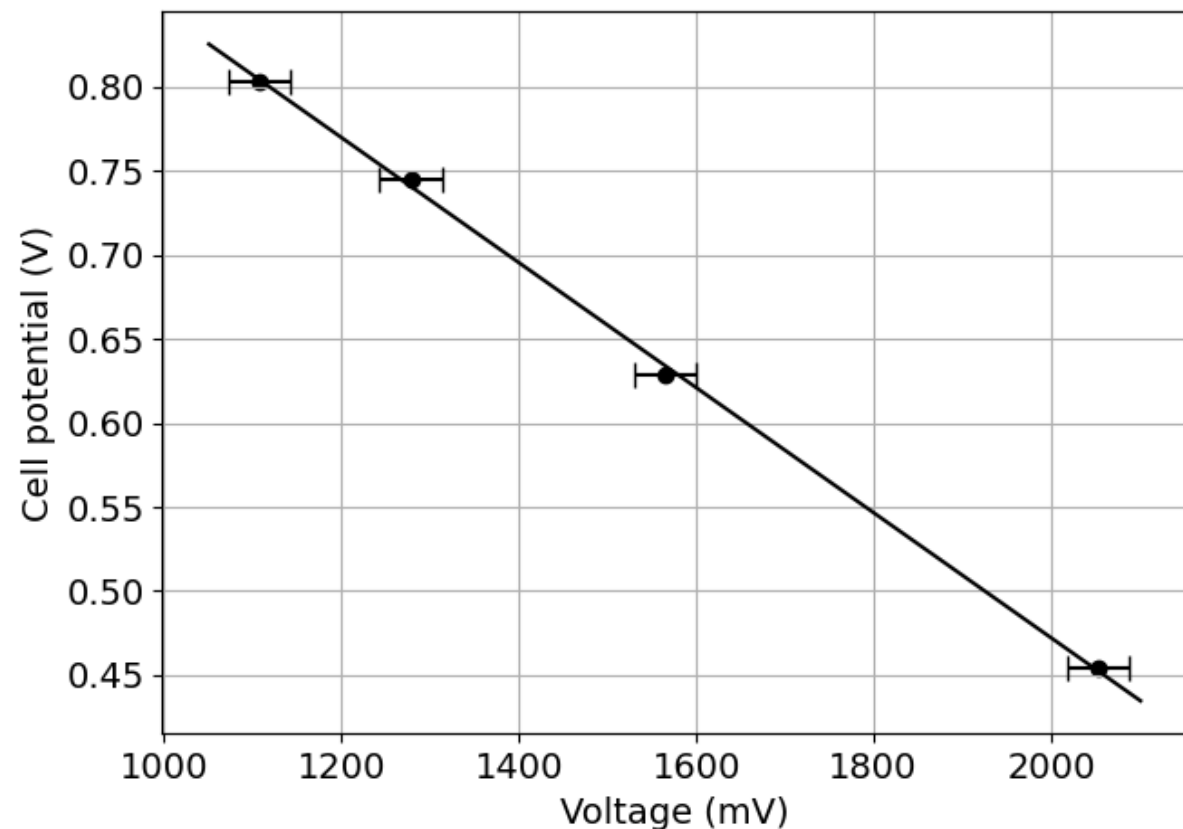
Soluções padrão da Certipur® com incerteza de  $\pm 0,002$  a uma temperatura de 20°C.

A partir da equação de Nernst, o potencial da célula (Ag/AgCl) para os padrões de pH foi derivado como 0,454 V, 0,629 V, 0,745 V e 0,803 V, respetivamente.

Alto coeficiente de determinação  $R^2 = 0,9992$ , estatística  $F = 2874$  e  $p\text{-value} = 0,000347$ .

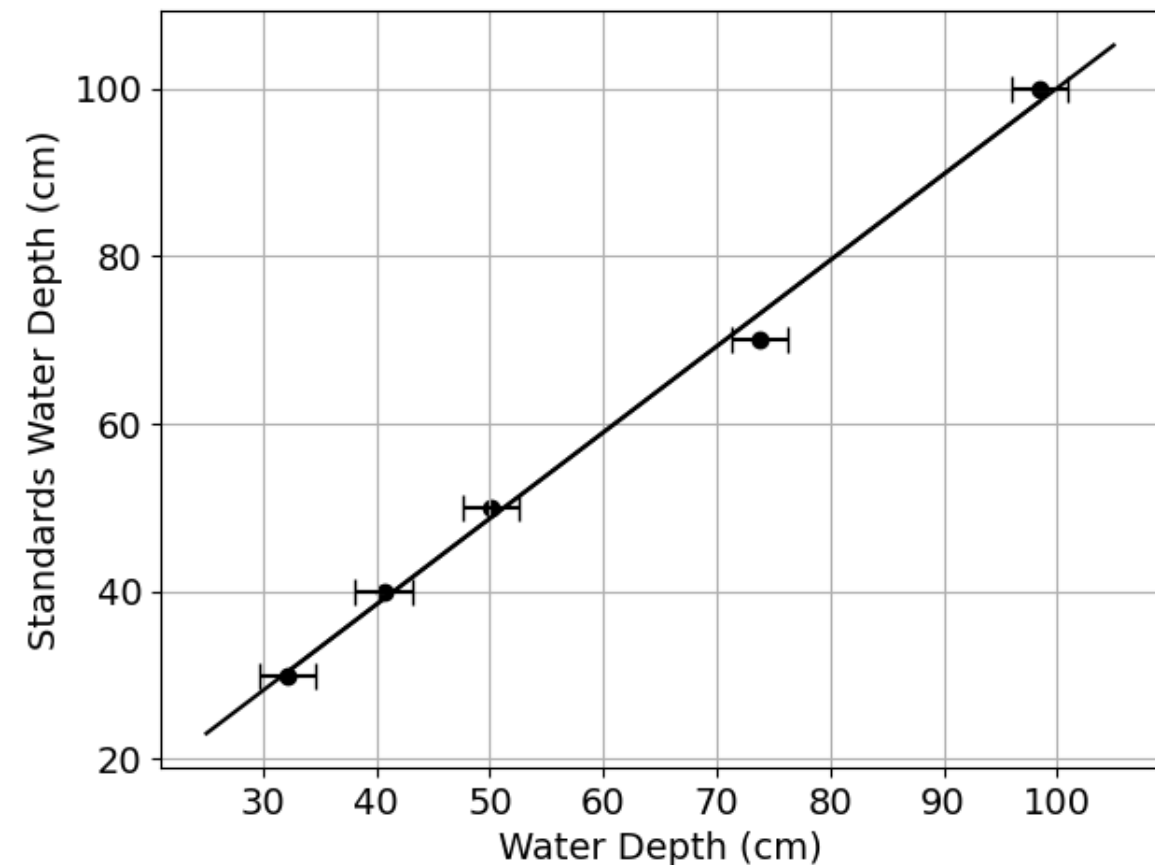
Correlação robusta entre o potencial da célula e os padrões de pH.

Desvio padrão  $\pm 35,37$  mV ( $\pm 0,2$  na escala de Sorensen para pH).



## 4. Calibração Sensor Sensor Nível Água

Calibrado em vários níveis: 30, 40, 75 e 100 cm.



Um padrão de trabalho: um medidor de contato elétrico SEBA, tipo KKL.

Um coeficiente de determinação  $R^2 = 0,9952$ , estatística  $F = 630$  e  $p\text{-value} = 0,00013$ , indicando uma concordância muito alta para as medições realizadas entre ambos os instrumentos.

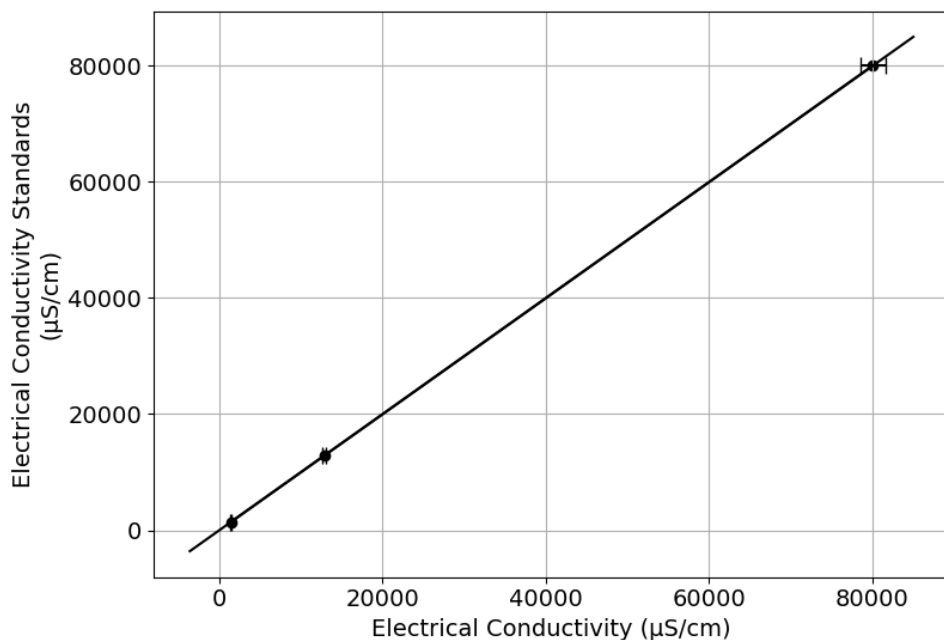
**Desvio Padrão: 2.60 cm**

**Incerteza combinada: 0.5%**





## 4. Calibração Sensor Condutividade



Soluções padrão recomendadas de 12880 e 80000 µS/cm.

Solução Padrão Atlas Scientific, com incerteza de  $\pm 5$  µS/cm a 25°C e rastreável ao NIST.

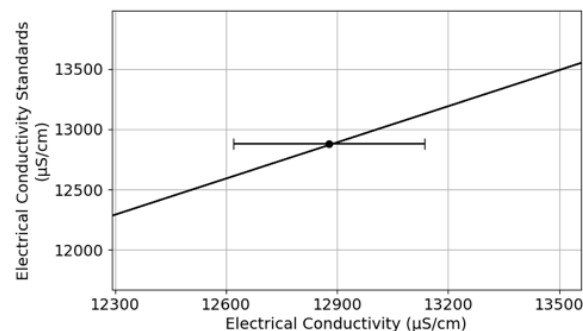
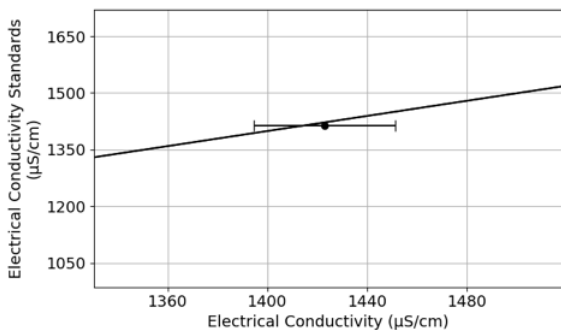
Foi introduzida a a solução padrão 1413 µS/cm.

Padrão da ASTM com a referência D1125, com precisão de  $\pm 1\%$  a 25°C

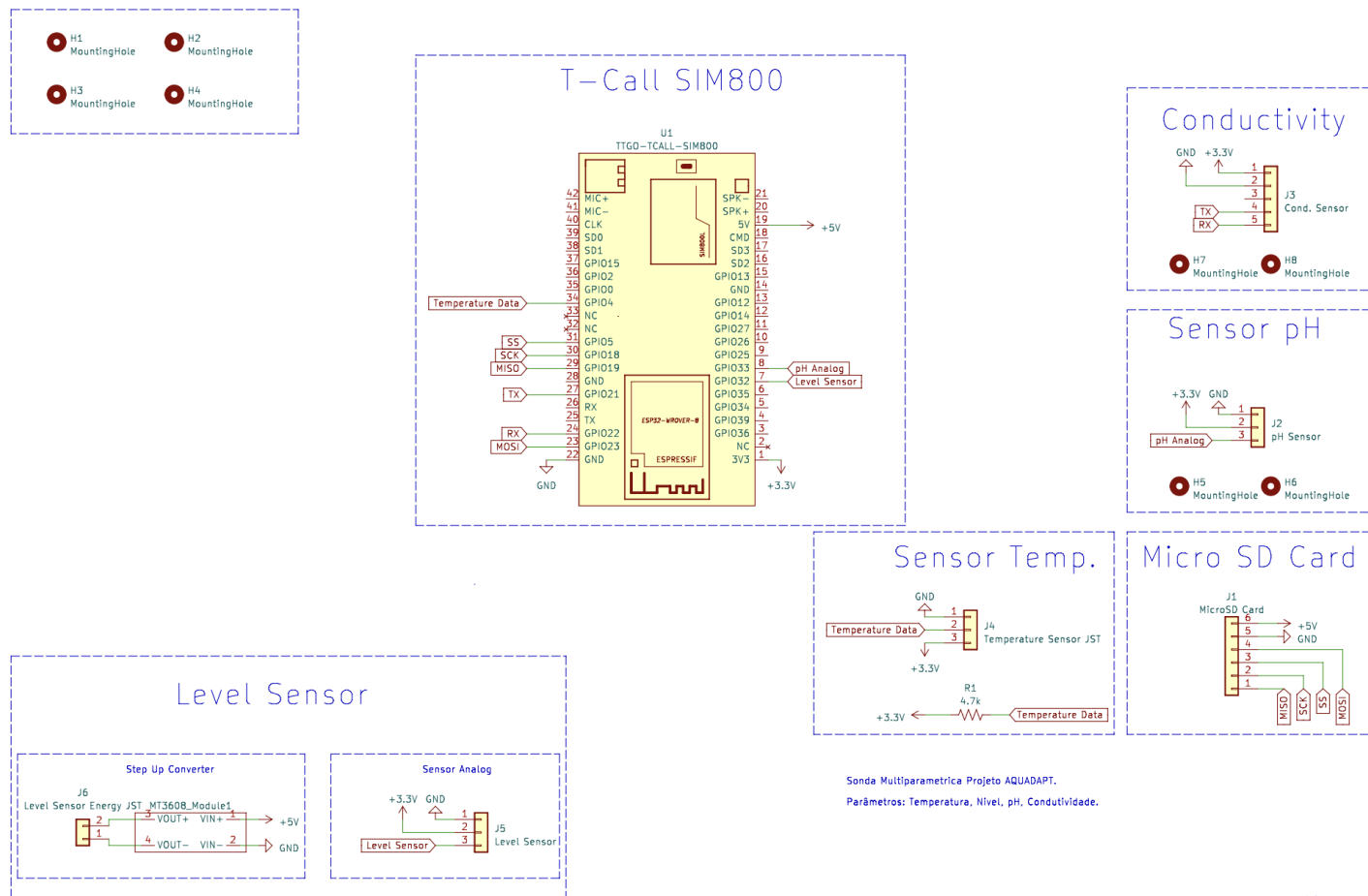
Coeficiente de determinação  $R^2 = 0,9999$ , estatística  $F = 16623803$  e p-value = 0,00015, indicando uma correlação muito alta entre os padrões de condutividade e a saída do sensor.

Incerteza combinada das medições:

- 1413 - 28.26 µS/cm,
- 12880 - 257.60 µS/cm,
- 80000 - 1600.00 µS/cm



# 5. Placa de Circuito Impresso



1.0

Figure 1. Placa de Circuito Impresso (esquemático)

## 5. Placa de Circuito Impresso

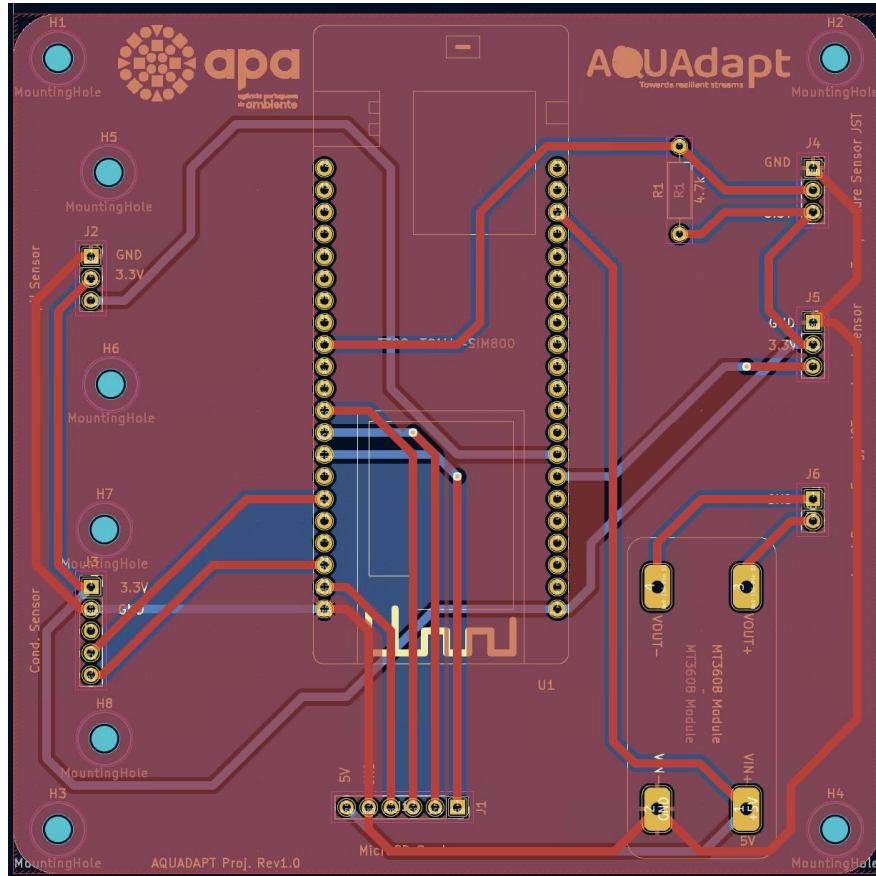


Figure 1. Placa de Circuito Impresso (esquemático)

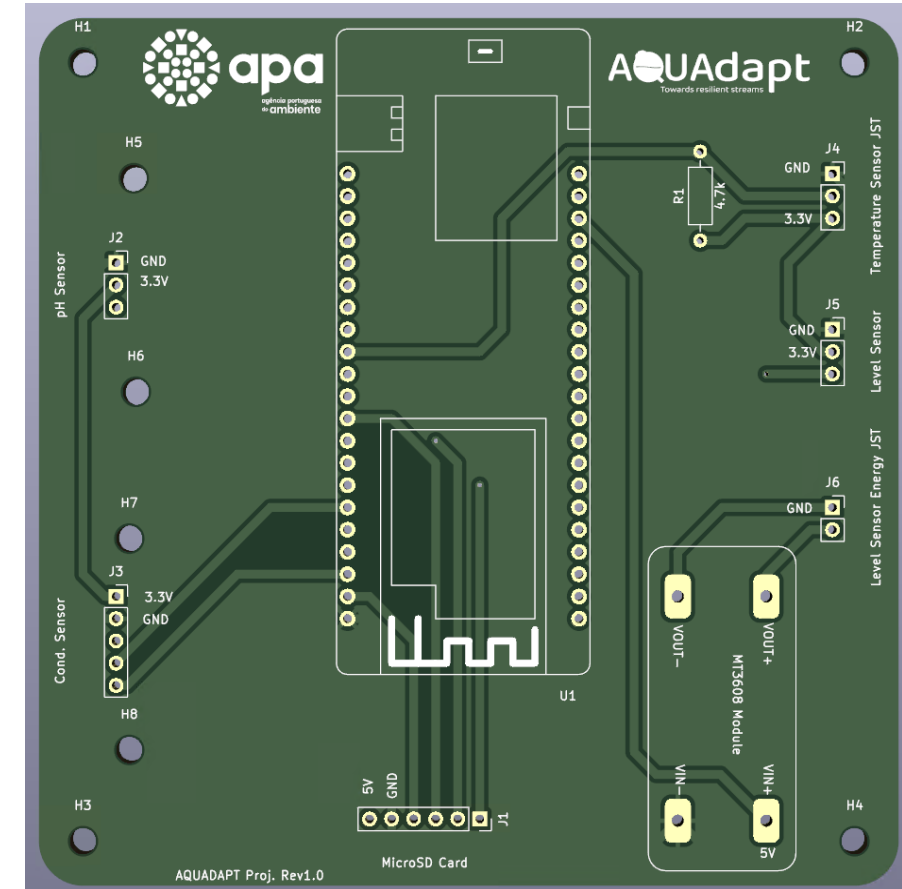


Figure 2. Placa de Circuito Impresso, vista 3D

## 6. Software

```
Multiparametros_GPRS.ino  Condutividade.ino  battery.ino  date.ino  dateSDcard.ino  levelSensor.ino  pHsensor.ino  sdCard.ino  sendFirebase.ino  serverN.ino  temperatureSensor.ino  notes.ino  ...
364 if (Serial.available() > 0) {
365   user_bytes_received = Serial.readBytesUntil(13, user_data, sizeof(user_data));
366 }
367
368 if (user_bytes_received) {
369   parse_cmd(user_data);
370   user_bytes_received = 0;
371   memset(user_data, 0, sizeof(user_data));
372 }
373
374 float temperatureC = getTemperature();
375
376
377 pHreading = pH.read_ph();
378
379 float pHreadingV=pH.read_voltage();
380
381 Serial.print("pH reading Voltage: ");
382 Serial.print(pHreadingV);
383
384 pHreading=nernestpHCompensationmV( temperatureC, pHreadingV);
385
386
387 values[0] = (pHreading);
388 Serial.println("pHreading");
389 Serial.println(pHreading);
390
Output  Serial Monitor
```

Figure 1. Arduino

```
postDB_AQUADAPT_php
68 echo $message4;
69 echo $message5;
70
71
72 // Log to a custom log file
73 $LogFile = "custom.Log";
74 error_log($message, message_type: 3, $LogFile);
75
76
77 $api_key = test_input($_GET["api_key"]);
78 if($api_key == $api_key_value) {
79   // $sensor = test_input($_POST["id"]);
80   $sensor = test_input($_GET["idName"]);
81   $location = test_input($_GET["date"]);
82   $value1 = test_input($_GET["hour"]);
83   $value2 = test_input($_GET["parameter"]);
84   $value3 = test_input($_GET["value"]);
85   $value4 = test_input($_GET["unit"]);
86   $value5 = test_input($_GET["obs"]);
87
88
89
90 // Create connection
91 $conn = new mysqli($servername, $username, $password, $dbname);
92 // Check connection
93 if ($conn->connect_error) {
94   die("Connection failed: " . $conn->connect_error);
95 }
96
```

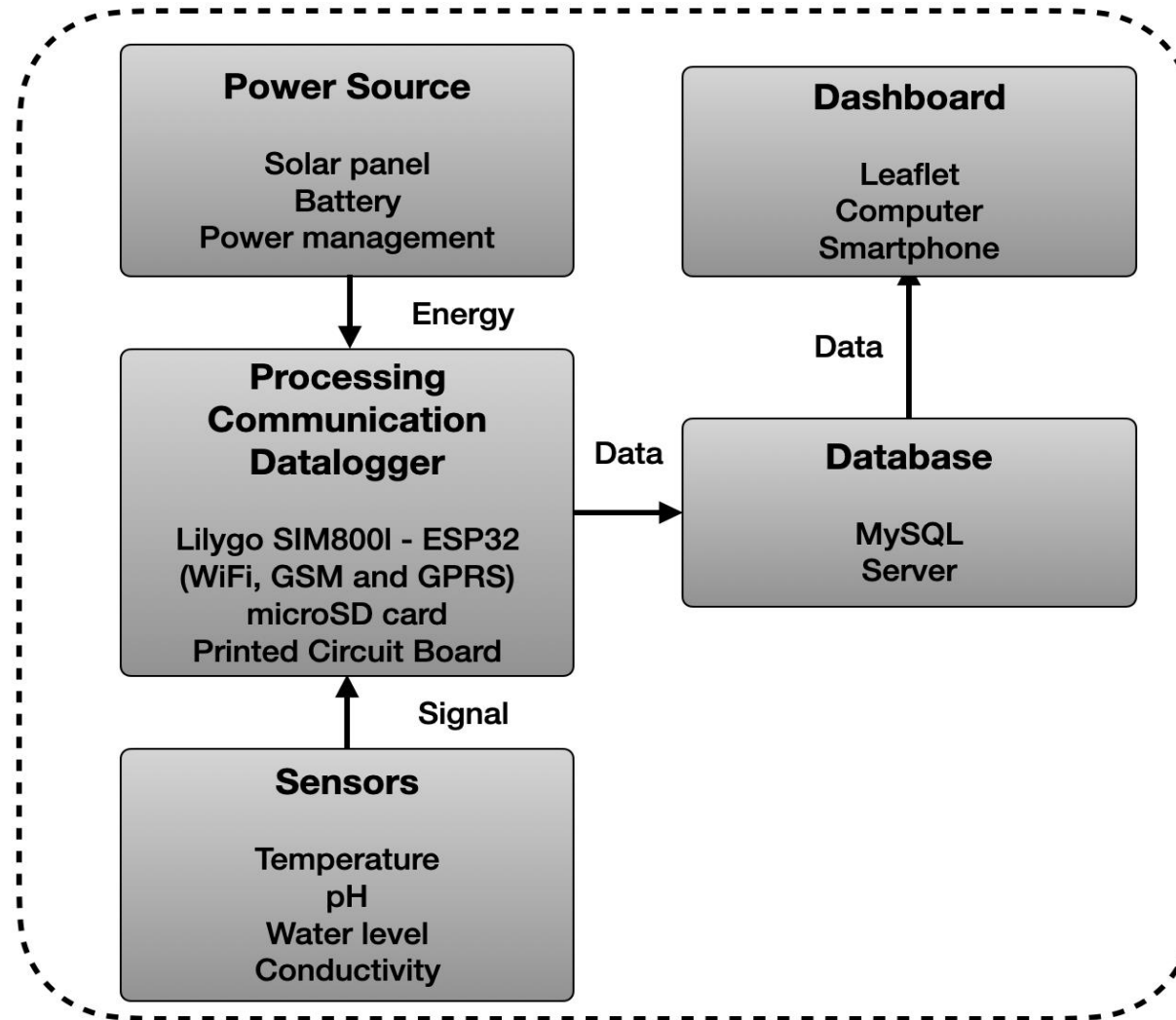
Figure 2. PHP

WHERE											ORDER BY	
	id	idName	date	hour	parameter	unit	obs	value				
1	1006829	AQUA_V1	2024-05-13	09:35:44	p	Sorensen scale	test	8.41				
2	1006830	AQUA_V1	2024-05-13	09:35:44	c	uS/cm	test	477.00				
3	1006831	AQUA_V1	2024-05-13	09:35:44	l	wc	test	38.68				
4	1006832	AQUA_V1	2024-05-13	09:35:44	t	°C	test	19.01				
5	1006833	AQUA_V1	2024-05-13	09:45:39	p	Sorensen scale	test	8.27				
6	1006834	AQUA_V1	2024-05-13	09:45:39	c	uS/cm	test	476.80				
7	1006835	AQUA_V1	2024-05-13	09:45:39	l	wc	test	37.89				
8	1006836	AQUA_V1	2024-05-13	09:45:39	t	°C	test	19.81				
9	1006837	AQUA_V1	2024-05-13	09:56:40	p	Sorensen scale	test	8.24				
10	1006838	AQUA_V1	2024-05-13	09:56:40	c	uS/cm	test	477.30				
11	1006839	AQUA_V1	2024-05-13	09:56:40	l	wc	test	38.12				
12	1006840	AQUA_V1	2024-05-13	09:56:40	t	°C	test	19.87				
13	1006841	AQUA_V1	2024-05-13	10:07:43	p	Sorensen scale	test	8.14				
14	1006842	AQUA_V1	2024-05-13	10:07:43	c	uS/cm	test	478.20				
15	1006843	AQUA_V1	2024-05-13	10:07:43	l	wc	test	38.82				
16	1006844	AQUA_V1	2024-05-13	10:07:43	t	°C	test	19.94				
17	1006845	AQUA_V1	2024-05-13	10:14:04	p	Sorensen scale	test	7.94				
18	1006846	AQUA_V1	2024-05-13	10:14:04	c	uS/cm	test	382.90				
19	1006847	AQUA_V1	2024-05-13	10:14:04	l	wc	test	39.26				
20	1006848	AQUA_V1	2024-05-13	10:14:04	t	°C	test	20.01				
21	1006849	AQUA_V1	2024-05-13	10:25:05	p	Sorensen scale	test	8.19				
22	1006850	AQUA_V1	2024-05-13	10:25:05	c	uS/cm	test	385.50				
23	1006851	AQUA_V1	2024-05-13	10:25:05	l	wc	test	39.19				
24	1006852	AQUA_V1	2024-05-13	10:25:05	t	°C	test	20.88				
25	1006853	AQUA_V1	2024-05-13	10:36:04	p	Sorensen scale	test	8.19				

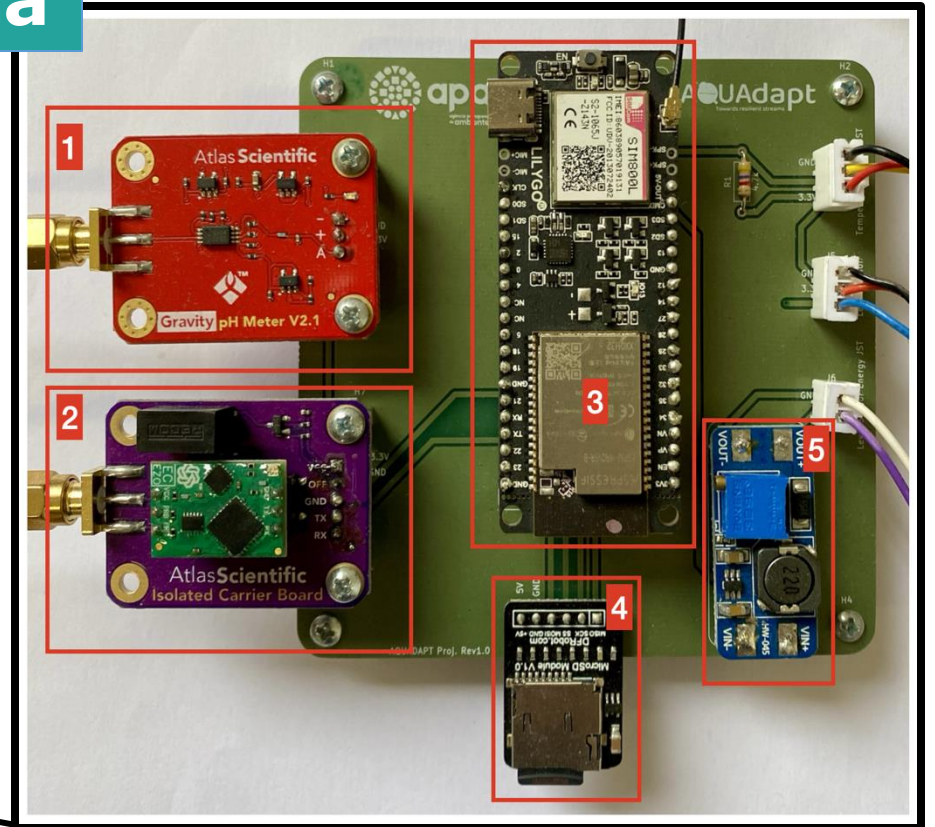
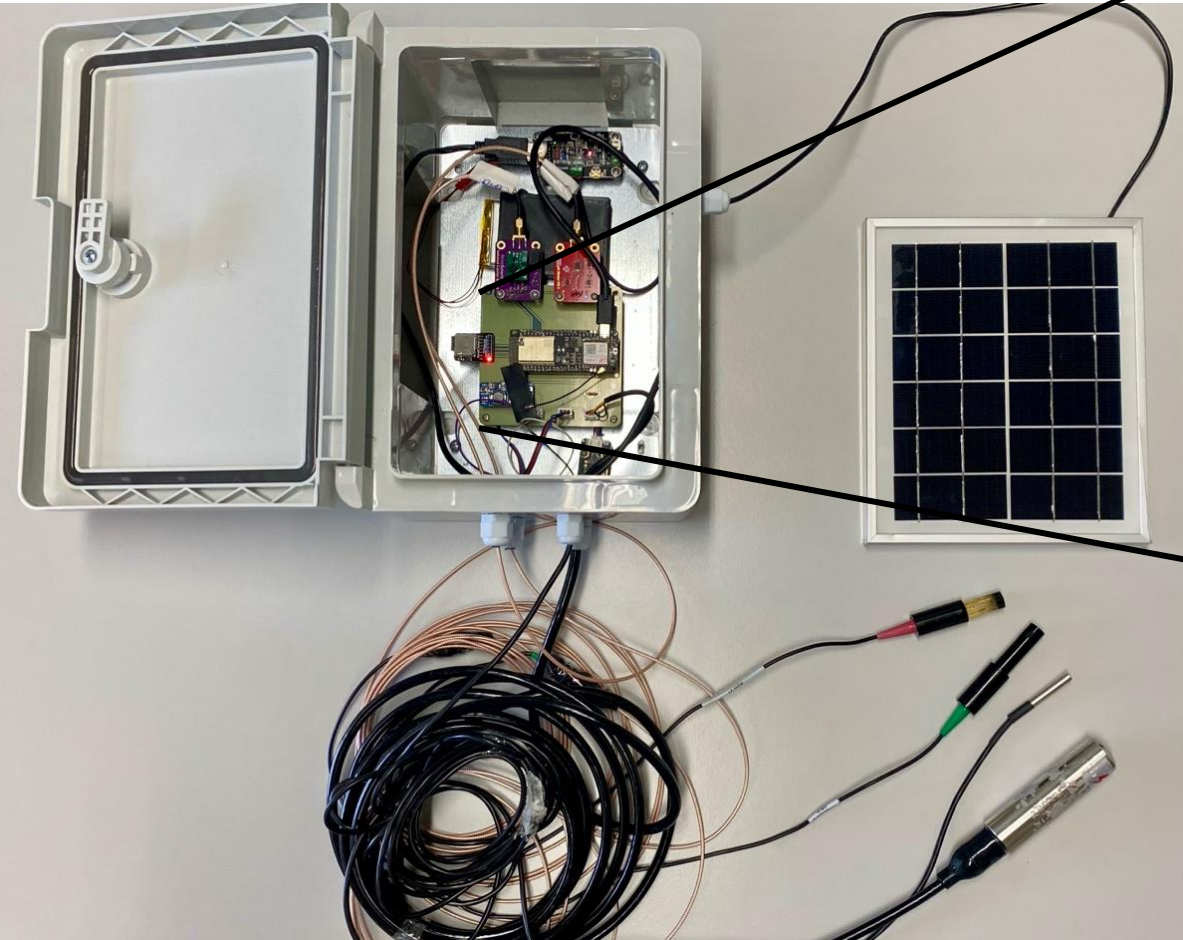
Figure 3. Base dados




## 7. Diagrama de Fluxo Sonda Multiparmétrica



## 8. Protótipo Sonda Multiparamétrica



- 1) Gravity™ Analog pH Sensor / Meter - GRV-pH Carrier Board,
- 2) Electrically Isolated EZO™ Carrier Board,
- 3) LILYGO® TTGO T-Call V1.4,
- 4) Modulo microSD e microSD Card used to store offline information
- 5) Conversor DC-to-DC step-up.

The background is a solid teal color with various faint, light-colored geometric and organic patterns. These include concentric circles, a plant-like sprout, a grid of small circles, a square with internal lines, and several teardrop shapes. On the right side, there is a cluster of white geometric shapes: circles, squares, and triangles, some of which are partially cut off by the edge.

# DEMO Dashboard

## 9. Conclusão

Este trabalho teve como principal objetivo o desenvolvimento de uma sonda multiparamétrica de baixo custo para monitorização em contínuo de dados de qualidade e quantidade com envio de dados remoto.

Os métodos tradicionais, que dependem de amostragem manual e análise laboratorial, apresentam limitações na obtenção de dados em tempo real e na avaliação de eventos de poluição episódicos e podem atrasar a tomada de decisões.

Os resultados dos testes laboratoriais sugerem que a nova sonda multiparamétrica é proficiente na determinação dos parâmetros: pH, temperatura, condutividade e nível de água



## 10. Trabalho em Desenvolvimento

1. Realização de testes em campo, introduzindo a sonda multiparmétrica em corpos de água para monitorização de parâmetros em ambiente real.
2. Avaliação da confiabilidade de hardware a longo prazo em campo
3. Modelos de *data-fusion* para avaliação dos ecossistemas
4. Introdução de novos sensores, como oxigênio dissolvido, nitratos e turbidez.



Figura 1. Herdade da Riba de Baixo



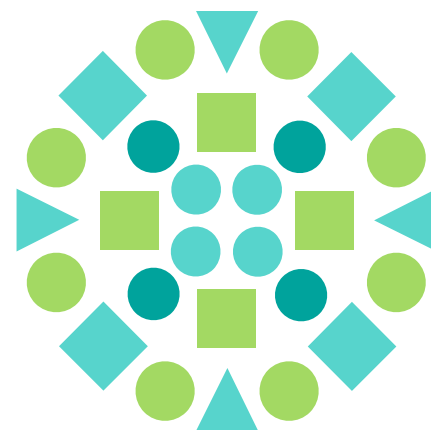
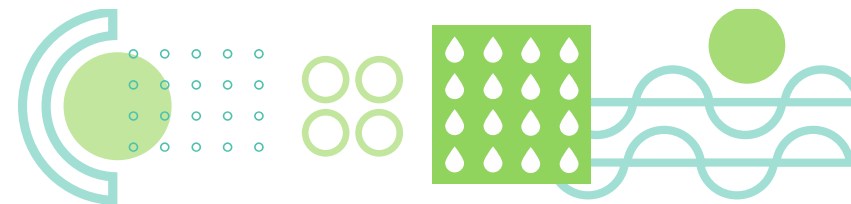
Figura 2. Ribeira de Melides

# Agradecimentos



Albufeira do Alvito





**THANK YOU**

[apambiente.pt](http://apambiente.pt)

[samuel.fernandes@apambiente.pt](mailto:samuel.fernandes@apambiente.pt)

