



INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA

EDUARDO FRANCISCO SCHAEFER

**ANÁLISE DA APLICABILIDADE E CALIBRAÇÃO DE UM MÓDULO
DE MEDIÇÕES OCEANOGRÁFICAS MULTIPARÂMETRO**

ITAJAÍ-SC
Dezembro, 2023



EDUARDO FRANCISCO SCHAEFER

ANÁLISE DA APLICABILIDADE E CALIBRAÇÃO DE UM MÓDULO DE MEDIÇÕES OCEANOGRÁFICAS MULTIPARÂMETRO

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica do Câmpus Itajaí do Instituto Federal de Santa Catarina para obtenção do diploma de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Roddy Alexander Romero Antayhua
Coorientador: Leonardo Francisco Machado

ITAJAÍ-SC

Dezembro, 2023

Ficha de identificação da obra
Sistema de Bibliotecas Integradas do IFSC - Campus Itajaí

S294a Schaefer, Eduardo Francisco
Análise da aplicabilidade e calibração de um módulo de medições oceanográficas multiparâmetro / Eduardo Francisco Schaefer ; orientador: Roddy Alexander Romero Antayhua ; coorientador: Leonardo Francisco Machado. -- 2023.
82 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Campus Itajaí, Graduação em Engenharia Elétrica, Itajaí, 2023.
Inclui bibliografia.

1. Engenharia Elétrica. 2. Oceanografia. 3. Instrumentos de medição. I. Antayhua, Roddy Alexander Romero. II. Machado, Leonardo Francisco. III. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina – Graduação em Engenharia Elétrica. IV. Título.

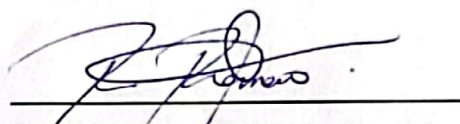
CDD 620.0044

EDUARDO FRANCISCO SCHAEFER

ANÁLISE DA APLICABILIDADE E CALIBRAÇÃO DE UM MÓDULO DE MEDIÇÕES
OCEANOGRÁFICAS MULTIPARÂMETROS

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título em Engenheiro Eletricista, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, e aprovado na sua forma final pela comissão avaliadora abaixo indicada.

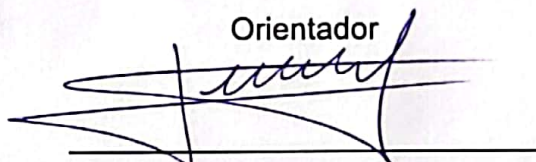
Itajaí, 18 de dezembro de 2023.



Prof. Roddy Alexander Romero Antayhua, Dr. Eng.

IFSC - Itajaí


Orientador



Prof. Leonardo Francisco Machado, Dr. Oc.

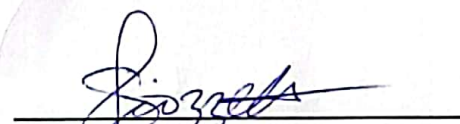
IFSC - Itajaí

Coorientador



Prof. Sergio Augusto Bitencourt Petrovic, Dr. Eng.

IFSC - Itajaí



Prof. Guilherme Ranzolin Piazzetta, Me. Eng.

IFSC - Itajaí

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida e pela capacidade.

Agradeço a minha família, em especial a minha mãe Vanilda Schaefer e a meu pai Danilo Schaefer por possibilitar e me apoiar durante o curso.

Agradeço a minha namorada e companheira Emily Silveira, por todas as vezes que me incentivou e me apoiou.

Agradeço aos professores, Roddy Romero pelo empenho e pela orientação, ao professor Leonardo Machado pelo suporte e pela idealização do projeto e ao professor Thiago Alves por me auxiliar durante as etapas de calibração.

Por fim agradeço ao IFSC e a todos os professores e servidores que contribuíram para a experiência de cursar engenharia elétrica.

RESUMO

Devido à influência de diversos fatores, as propriedades dos oceanos estão suscetíveis a mudanças constantes, que podem estimular alterações na vida marinha, tornando-se importante acompanhar o comportamento de determinadas grandezas. Este trabalho tem por objetivo analisar a aplicabilidade de um módulo de medição de temperatura, turbidez e salinidade da água do mar, para ser usado em conjunto com uma armadilha de larvas de peixe. Buscando obter medidas confiáveis, a calibração dos sensores através de referências de calibração permitiu obter curvas de calibração com coeficientes de regressão próximos à unidade. Além disso, foi estimado o consumo do módulo para determinar a bateria capaz de fornecer autonomia, e através do desligamento de componentes foi possível minimizar o consumo de energia. Este trabalho aborda a vedação do protótipo que permite criar uma cápsula estanque que torna possível a submersão do módulo. Testes em ambiente controlado foram realizados para análise do comportamento dos sensores. Foi constatado que o protótipo desenvolvido é capaz de realizar medições confiáveis de temperatura e turbidez. O sensor de salinidade, embora funcione conforme o esperado, verificou-se a necessidade de novos ajustes, para melhorar a sua exatidão.

Palavras chaves: Temperatura. Turbidez. Salinidade. Calibração. Oceano.

ABSTRACT

Due to the influence of many factors, the properties of oceans are susceptible to constant changes that can alter marine life, becoming important to monitor some parameters. This study analyzes the applicability of a module to measure temperature, turbidity, and salinity of seawater, to be used in conjunction with a fish larva trap. Aiming reliable measurements, sensor calibration using calibration references enabled the reaching calibration curves with regression coefficients close to one. Additionally, the module's power consumption was estimated to determine a battery capable of providing autonomy, and through the shutdown of components, it was possible to mitigate energy consumption. The research also addresses sealing the prototype, allowing the creation of a watertight capsule that enables the module to be submerged. Tests in a controlled environment were conducted to analyze sensor behavior. It was found that the developed prototype is capable of reliable measurements of temperature and turbidity. The salinity sensor, while operating as expected, was found to require adjustments to improve its accuracy.

Keywords: Temperature. Turbidity. Salinity. Calibration. Ocean.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Armadilha de larvas de peixe.....	15
Figura 2 - Protótipo desenvolvido em PI 3.....	16
Figura 3 - OpenCTD.....	19
Figura 4 - CTD de baixo custo.....	19
Figura 5 - Medidor multiparâmetro.....	20
Figura 6 - Sensor de turbidez de baixo custo.....	21
Figura 7 - Sensores para rede de monitoramento.....	21
Figura 8 - Código para estimar o tempo de modo ativo.....	23
Figura 9 - Sensor de salinidade.....	24
Figura 10 - Diagrama esquemático da fonte de corrente do sensor de salinidade....	27
Figura 11 - Consumo ATmega328P.....	30
Figura 12 - Esquemático placa Arduino.....	31
Figura 13 - Consumo de cada componente.....	35
Figura 14 - Peça 3D para fixação dos sensores.....	37
Figura 15 - Equipamentos utilizados para preparação das amostras.....	41
Figura 16- Sensor de salinidade(esquerda) e condutivímetro(direita) sob teste.....	42
Figura 17 - Comparação entre as curvas de condutividade.....	43
Figura 18 - Ponta de prova do condutivímetro.....	44
Figura 19 - Equipamentos para calibração do sensor de temperatura.....	48
Figura 20- Curva de calibração do sensor de temperatura.....	48
Figura 21 - Sensor ST100.....	49
Figura 22 - Amostras para calibração do sensor de turbidez.....	51
Figura 23 - Curva do turbidímetro de referência com amido de milho.....	52
Figura 24 - Curva do turbidímetro de referência com achocolatado.....	53
Figura 25 - Curva 1 de calibração do sensor de turbidez.....	54
Figura 26 - Protótipo para teste de vedação.....	56
Figura 27 - Resina aplicada para vedação na parte interna.....	57
Figura 28 - Montagem do módulo.....	57
Figura 29 - Configuração para ambiente controlado.....	58
Figura 30 - Resultado das medidas de temperatura em ambiente controlado.....	59
Figura 31 - Medidas de turbidez em teste de ambiente controlado.....	62
Figura 32 - Medidas de turbidez em teste de ambiente controlado sem efeito da decantação.....	62
Figura 33 - Variação da resistência durante teste do sensor de salinidade.....	63
Figura 34 - Histograma das medições de salinidade.....	64
Figura 35 -Variação em ohms entre cada medição.....	65
Figura 36 - Histograma das variações entre as medições.....	66

Figura 37 - Aplicativo Android..... 69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Consumo de cada componente.....	35
Tabela 2 - Unidades de medida de salinidade.....	39
Tabela 3 - Dados para calibração do sensor de salinidade.....	42
Tabela 4 - Condutividade referência em diferentes temperaturas.....	45
Tabela 5 - Medidas de condutividade do sensor desenvolvidos corrigidas.....	45
Tabela 6 - Coeficiente das curvas de calibração do sensor de salinidade.....	46
Tabela 7 - Concentrações de amido de milho e achocolatado e turbidez medida.....	51
Tabela 8 - Comparação entre curvas de calibração do sensor de turbidez.....	55
Tabela 9 - Planejamento para teste em ambiente controlado.....	60
Tabela 10 - Medição de resistores.....	67
Tabela 11 - Influência do fator L/A.....	68

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADC - Conversor Analógico-Digital
CI - Circuito Integrado
CTD - *Conductivity, Temperature and Depth*
GND - Aterramento
ISO - *International Organization for Standardization*
NTU - *Nephelometric Turbidity Unit*
PI - Projeto Integrador
ppt - *parts per thousand*
PSS - *Practical Salinity Scale*
psu - *Practical Salinity Units*
PVC - Policloreto de Vinila
RTC - *Real Time Clock*
TJB - Transistor de Junção Bipolar
TSS - Total de Sólidos Suspensos
VIM - Vocabulário Internacional de Metrologia

LISTA DE SÍMBOLOS

A - Ampere

E - Energia elétrica

V - Volt

W - Watt

Wh - Watts hora

Wm - Watt minuto

Ws - Watt segundo

P - Potência elétrica

I_{in} - Corrente de entrada

ρ - Ohm por metro

σ - Siemens por metro

Ω - Ohm

V_{out} - Tensão de Saída

SUMÁRIO

SUMÁRIO.....	12
1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 Justificativa.....	14
1.2 Definição do problema.....	16
1.3 Objetivos.....	17
1.3.1 Objetivo Geral.....	17
1.3.2 Objetivo Específico.....	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1 OpenCTD - Projeto de código aberto de Andrew Thaler.....	18
2.2 CTD de baixo custo de Heather Broadbent.....	19
2.3 Medidor multiparâmetro de baixo custo de Lorena Parra.....	20
2.4 Sensor de turbidez de baixo custo de Azman.....	20
2.5 Rede de monitoramento de Filippo Campagnaro.....	21
3 DESENVOLVIMENTO.....	22
3.1 Consumo.....	22
3.1.1 Consumo do sensor de salinidade.....	24
3.1.2 Consumo do sensor de temperatura e turbidez.....	28
3.1.3 Consumo da placa Arduino Uno.....	29
3.1.4 Consumo do módulo SD.....	32
3.1.5 Consumo do módulo bluetooth.....	32
3.1.6 Consumo da módulo RTC.....	33
3.1.7 Dimensionamento da bateria.....	34
3.2 Calibração do sensor de salinidade.....	36
3.2.1 Aspectos construtivos.....	36
3.2.2 Processo de calibração.....	39
3.2.3 Resultados da calibração do sensor de salinidade.....	42
3.3 Calibração do sensor de temperatura.....	46
3.4 Calibração do sensor de turbidez.....	49
3.5 Montagem do protótipo.....	55
3.5.1 Teste de estanqueidade da parte inferior.....	56
3.5.2 Montagem módulo.....	57
4 RESULTADOS.....	58
4.1 Teste do sensor de temperatura e de turbidez.....	58
4.2 Teste do sensor de salinidade.....	63
4.3 Comportamento dos demais componentes.....	69
5 CONCLUSÃO.....	70
6 REFERÊNCIAS.....	72
APÊNDICE I - Curvas de calibração do sensor de salinidade.....	76
APÊNDICE II - Dados de calibração do sensor de temperatura.....	78

APÊNDICE III - Dados de calibração do sensor de turbidez.....	80
APÊNDICE IV - Diagrama esquemático do protótipo.....	81
ANEXO I - Fatores de correção ISO 7888.....	82

1 INTRODUÇÃO

Os oceanos desempenham um papel fundamental no equilíbrio ambiental e na sustentabilidade do nosso planeta. No entanto, as condições da água do mar estão sujeitas a mudanças constantes que podem ter impactos significativos na vida marinha, na atividade pesqueira e em outros trabalhos aquáticos, como sugere Yao, CL(2014).

Quando se trata de instrumentação oceanográfica, existem vários métodos que permitem a coleta de dados dos oceanos, como descreve Castello e Krug (2015), desde instrumentos mecânicos que coletam amostras até veículos submarinos e equipamentos por satélites, enfatizando a importância de equipamentos para acompanhar as condições marítimas.

Assim, para compreender e monitorar essas variações, é essencial o desenvolvimento de tecnologias e sistemas de medição capazes de fornecer dados confiáveis a respeito de parâmetros oceanográficos. A disponibilidade de tais ferramentas permite aprimorar a compreensão a respeito de eventos e fenômenos, como propõe BROADBENT (2017), quem desenvolveu um equipamento de baixo custo para fazer medições de condutividade (que pode ser traduzido em salinidade), pressão e temperatura.

Para que haja confiabilidade nas medições realizadas por um equipamento, se faz necessário a calibração, para minimizar ao máximo os erros sistemáticos de um sistema de medição, tornando o valor medido mais próximo do valor verdadeiro (ALBERTAZZI, 2017, p. 114). Ao mesmo tempo, para garantir o funcionamento adequado de um sistema, é necessário conhecer seu funcionamento e consumo, para que a energia fornecida seja suficiente para garantir a autonomia desejada.

1.1 Justificativa

Na disciplina Projeto Integrador III, começou-se a construção de um dispositivo para realizar avaliações oceanográficas, equipado com dois sensores comerciais, um para medir a temperatura (DS18B20) e outro para avaliar a turbidez (ST100), que é um indicador da transparência da água. Paralelamente, durante um projeto de pesquisa, iniciou-se o desenvolvimento de um sensor para medir a

salinidade. Esses componentes formam um conjunto completo para medição de temperatura, turbidez e salinidade da água, atendendo a uma necessidade do curso de Recursos Pesqueiros do IFSC Câmpus Itajaí, que busca compreender as variações das condições marítimas durante as atividades de pesquisa de campo, como a coleta de larvas de peixes no mar utilizando uma armadilha luminosa, semelhante ao trabalhos mostrados por Lecaillon (2007), ilustrado na Figura 1.

Dessa forma, ao mergulhar a armadilha na água, juntamente pode ser submergido o módulo que irá coletar informações sobre as condições do local, em até 10 metros.

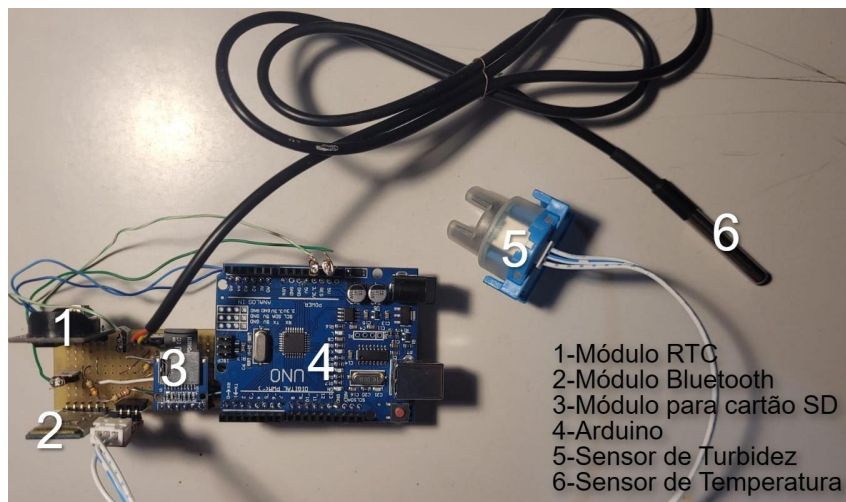
Figura 1 - Armadilha de larvas de peixe



Fonte: Lecaillon (2007).

Além disso, possui um *datalogger* que armazena as medições bem como o horário que foi realizada a medição, e também permite verificar as medições em tempo real através da comunicação *bluetooth*, o conjunto será montado dentro de um cano de PVC e fechado com tampão de PVC com anel de borracha para vedação.

Figura 2 - Protótipo desenvolvido em PI 3



Fonte: Autor

Esse trabalho é inspirado em um projeto de código aberto desenvolvido por THALER (2020), que implementou um módulo para medição de temperatura, salinidade e profundidade nos oceanos. Ainda assim, o trabalho aqui desenvolvido traz algumas principais diferenças, como o módulo *bluetooth* e desenvolvimento do sensor de salinidade ao invés de utilizar um sensor comercial, devido aos custos para aquisição.

Dessa forma, é crucial investigar a funcionalidade do módulo, analisando se os sensores utilizados são capazes de fornecer dados que refletem a condição dos oceanos, e assim permitir conhecer sobre o ambiente marinho.

1.2 Definição do problema

A região de Itajaí é reconhecida como uma área de grande importância econômica e ambiental, abrigando uma variedade de atividades marítimas, como pesca, turismo costeiro e transporte marítimo (ITAJAÍ, 2023). Nesse contexto, é crucial compreender e monitorar os parâmetros oceanográficos que desempenham um papel fundamental nos ecossistemas marinhos, além do que, esses parâmetros podem estar relacionados a outros eventos que hoje ainda não é possível associá-los.

Além disso, é comum que atividades de pesquisa necessitem fundamentar-se em parâmetros relacionados ao estudo, pois podem ser essenciais para estabelecer

a relação entre os objetos de estudo e as análises realizadas. Dessa forma, compreender a interação entre variáveis e os resultados permite uma análise mais precisa e contextualizada dos dados de pesquisa, como é o caso da armadilha luminosa para para o qual este módulo será usado em conjunto em um primeiro momento, que tem a necessidade de associar a salinidade, temperatura e turbidez da água com a coleta de larvas de peixe.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Avaliar se o módulo de medições oceanográficas desenvolvido é aplicável para as atividades em que é proposto, verificando se os sensores possuem exatidão nas medidas, bem como a eficiência do seu funcionamento como um conjunto.

1.3.2 Objetivo Específico

- Determinar e otimizar o consumo do módulo.
- Dimensionar a bateria para garantir a autonomia de funcionamento pelo tempo necessário.
- Calibrar individualmente os sensores de salinidade, temperatura e turbidez.
- Desenvolvimento de um protótipo para teste em ambiente controlado.
- Realizar testes das medições dos sensores de forma simultânea em um ambiente controlado, onde as variáveis de temperatura, salinidade e turbidez serão ajustadas manualmente.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A grande parte dos trabalhos relacionados trata de protótipos de equipamentos denominados CTD, uma sigla para condutividade, temperatura e profundidade (*conductivity, temperature and depth*) e se referem a um conjunto de instrumentos capazes de medir essas três grandezas, dessa forma se difere ligeiramente do trabalho aqui apresentado, uma vez que o protótipo desenvolvido se propõe a medir temperatura, condutividade (usado para calcular salinidade) e turbidez da água.

Os CTDs comerciais apresentam um custo considerável, com modelos mais acessíveis podendo custar milhares de dólares. Essa elevada despesa pode representar um desafio para projetos de pesquisa oceanográfica (THALER, 2020). Portanto, a busca por alternativas viáveis, como o desenvolvimento de dispositivos capazes de realizar medições de parâmetros marítimos, torna-se uma contribuição valiosa para as áreas de pesquisa.

2.1 OpenCTD - Projeto de código aberto de Andrew Thaler

Desenvolvido por THALER (2020), o projeto tem o intuito de instruir cientistas, educadores e pesquisadores a criação de CTDs de baixo custo, dessa forma toda lista de materiais e código fonte são disponibilizados. Este projeto utiliza sensores comerciais de temperatura, pressão e salinidade, estes são fixados dentro de uma cano PVC, suportando até 100 metros de profundidade. Utiliza o Arduino e os dados coletados são armazenados em um cartão SD juntamente com horários referentes a cada medição através de um módulo RTC (*Real Time Clock*).

A extremidade inferior, onde ficam expostos os sensores, foi isolada com resina epóxi que é colocada acima de uma peça impressa em impressora 3D que posiciona os sensores, já a extremidade superior é colocada uma peça rosqueável que expande um anel de borracha para vedação.

Figura 3 - OpenCTD

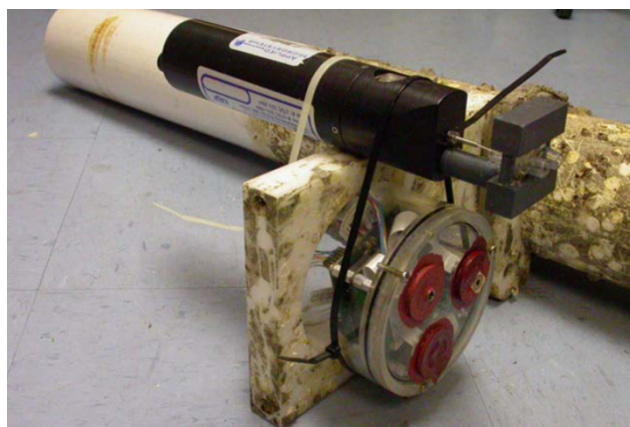


Fonte: Página Oceanography for everyone.¹

2.2 CTD de baixo custo de Heather Broadbent

Esse trabalho proposto por BROADBENT (2017), desenvolve um CTD de baixo custo e de pequenas dimensões, construído em um recipiente acrílico e vedado com resina de uretano. Utiliza o microcontrolador MSP430, visando o baixo consumo, alcançando assim uma autonomia de 22 dias. Os sensores de condutividade e de temperatura foram desenvolvidos usando técnicas de fabricação de PCB MEMS, que é usado em conjunto com um sensor de pressão piezoelétrico de pressão.

Figura 4 - CTD de baixo custo



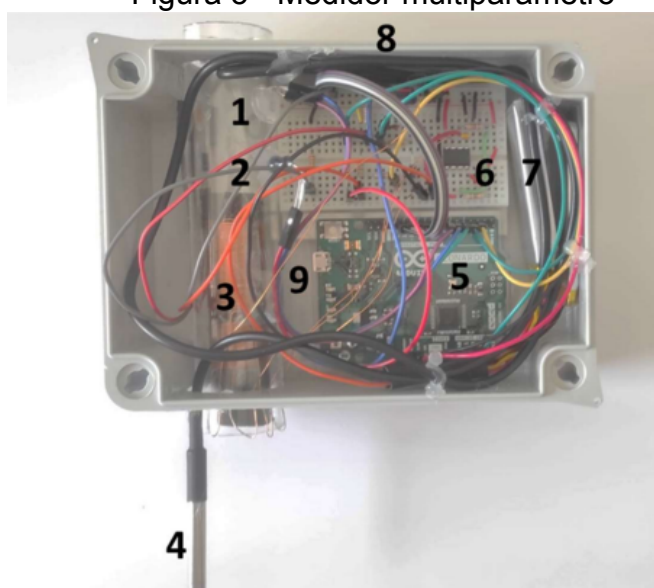
Fonte: Broadbent, 2007

¹ Disponível em: <<https://oceanographyforeveryone.com/project/openctd/>> Acesso em 22 de out. 2023

2.3 Medidor multiparâmetro de baixo custo de Lorena Parra

Desenvolvido na Universidade de Valência por Parra (2023), também propõe um equipamento de baixo custo. Baseado em Arduino, utiliza um sensor comercial de temperatura e desenvolve um sensor indutivo de salinidade e um sensor de TSS (Sólidos Suspensos Totais). Os dados coletados são armazenados em um cartão SD ou podem ser transmitidos por WIFI, foi também desenvolvido mecanismos para diminuir o consumo colocando o módulo em modo *sleep*.

Figura 5 - Medidor multiparâmetro



Fonte: Parra, 2023

2.4 Sensor de turbidez de baixo custo de Azman

Azman et al. (2016) desenvolveu um sensor de turbidez de baixo custo para monitoramento da qualidade da água. O sensor realiza medições com base na dispersão de luz em líquidos. Utiliza o PIC 16F777 como processador principal. Foram realizadas comparações do sensor desenvolvido com o turbidímetro (Hach 2100P), permitindo a calibração e comprovando que o dispositivo proposto produz uma leitura de NTU (*Nephelometric Turbidity Unit*) comparável ao sensor de turbidez comercial. Resultando em um sensor de turbidez com facilidade de uso, baixo consumo de energia e baixo custo.

Figura 6 - Sensor de turbidez de baixo custo

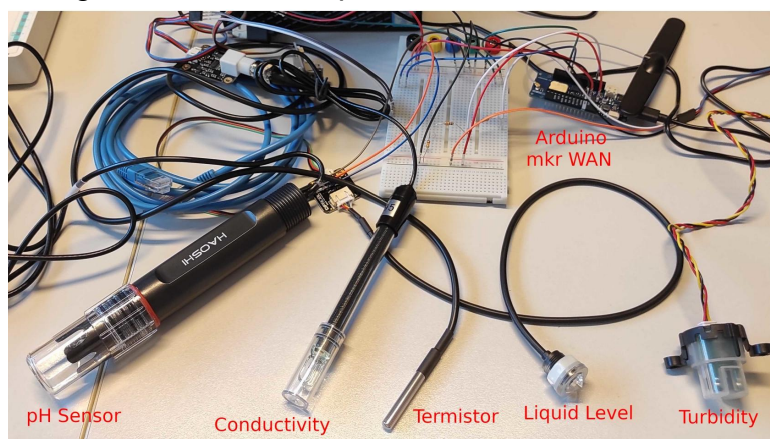


Fonte: Campagnaro, 2022

2.5 Rede de monitoramento de Filippo Campagnaro

Campagnaro (2022) propõe uma rede integrada de sensores para monitorar áreas costeiras, além de utilizar os sensores presentes em um CTD, monitora também o pH, turbidez e nível da água. Armazenando os dados em nuvem, acessíveis aos pesquisadores, permitindo que monitorem o estado de uma determinada área e desenvolvam modelos de previsão.

Figura 7 - Sensores para rede de monitoramento



Fonte: Campagnaro, 2022

3 DESENVOLVIMENTO

O desenvolvimento deste trabalho se divide em três partes principais: determinar o consumo do módulo, calibrar os sensores e testar o módulo em ambiente controlado.

3.1 Consumo

Estabelecer o consumo de energia para cada componente do módulo de medição é indispensável, pois reflete no dimensionamento da bateria que vai permitir o funcionamento do módulo durante todo o tempo que estiver em operação, que está relacionado ao período de funcionamento da armadilha luminosa, que é aproximadamente 12 horas.

Para determinar o consumo total foi feita uma análise em ambiente de simulação e testes em bancada dos componentes do módulo, primeiro analisando o consumo do sensor de salinidade, que incorpora uma fonte de corrente, desenvolvido em um projeto de pesquisa e por fim uma análise de consumo do restante do módulo.

Os demais componentes que compõem o protótipo, são: módulo para cartão SD para armazenar as medidas dos sensores, módulo RTC (*Real Time Clock*) para relacionar as medições com horário que foi realizado, módulo *bluetooth* para comunicação com celular e verificar as medições em tempo real. Além do Arduino e dos sensores de temperatura e turbidez. Nessa etapa, foram feitos testes práticos e análise do *datasheet* dos componentes. Segundo o *datasheet* de alguns componentes, o consumo pode variar a depender do modo de operação, para garantir a autonomia da bateria o cálculo do consumo considera-se o modo de operação com maior consumo ou a análise de consumo prático em bancada.

Além disso, a estimativa de consumo inclui o tempo que o módulo está realizando medições ("Modo Ativo"), mas também o tempo que está no intervalo entre medições ("Modo de baixo consumo"), neste cenário o módulo não está fazendo leituras, assim alguns componentes são desativados ou desligados. Desta forma, o módulo faz medições a cada 5 min, ou seja, inicia-se no modo ativo, realiza-se as medições e entra no modo baixo consumo até a próxima medição.

Para determinar a duração do modo ativo levou-se em consideração o tempo necessário para executar as linhas de código que fazem as leituras dos sensores e gravação dos dados no cartão SD. A função "micros()" retorna quantidade de microssegundos decorridos desde o início da execução do programa na placa Arduino (ARDUINO, 2023). A Figura 8 representa como a função "micros()" foi implementada para estimar o tempo de modo ativo:

Figura 8 - Código para estimar o tempo de modo ativo

```
void setup() {  
  
}  
  
void loop() {  
  Serial.begin(9600);  
  unsigned long inicio = micros();  
  void medicoes();  
  unsigned long fim = micros();  
  
  double duracao_modos_ativo = fim - inicio;  
  
  Serial.println(duracao_modos_ativo);  
  
}  
  
void medicoes() {  
  //Realiza das medições e grava no SD  
}
```

Fonte: Autor

Dentro da função "loop()", é medido o tempo necessário para a coleta de dados de sensores e gravação em um cartão SD representado pela função "medicoes()". A função "micros()" é usada para medir o tempo em microssegundos no início e no final dessa operação, e a diferença entre esses tempos é o tempo que o Arduino permanecerá no modo ativo.

Com todo o código necessário para a medição e gravação implementado na função "medicoes()", foi constatado que o tempo de duração do modo ativo é de 1,22 s, sem considerar o tempo para executar as instruções na função "setup()".

Considerando uma margem de segurança de 20%, foi considerado como tempo de modo ativo 1,5 s.

3.1.1 Consumo do sensor de salinidade

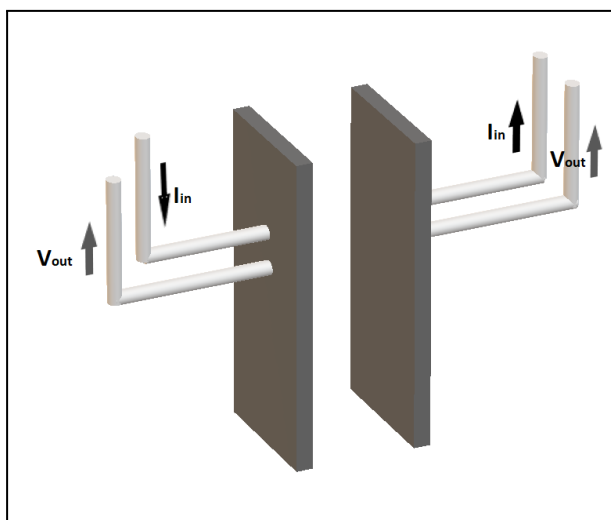
O funcionamento do sensor de salinidade se baseia em determinar a condutividade elétrica da água através da medição da resistência da mesma e assim determinar a salinidade da amostra, como propõe Xiao et al. (2023).

A medição consiste em quatro cabos: dois para aplicar corrente na amostra e dois para medir a queda de tensão através dela. Ao aplicar a corrente elétrica na água e medir a queda de tensão, é possível calcular a resistência elétrica da amostra (ASHOKAN; THOMAS; NATARAJAN, 2009).

O sensor foi montado de forma similar ao esquemático da Figura 9, onde duas placas de inox são colocadas na água, por onde passa a corrente (I_{in}) e é feita a medição da queda de tensão (V_{out}) com o arduino. Se a corrente for constante, que pode ser fornecida através de uma fonte de corrente, ao medir a queda de tensão na amostra a resistência pode ser obtida através da equação (1) (SADIKU, 2013. p. 28):

$$R = \frac{I_{in}}{V_{out}} . \quad (1)$$

Figura 9 - Sensor de salinidade



Fonte: Autor

Com as informações das dimensões da placa e a resistência medida, pela lei de Ohm (SADIKU, 2013. p. 27), é possível calcular resistividade (ρ), consequentemente a condutividade (σ) que é o inverso da resistividade, como mostra a equação (2), que por fim pode ser relacionada com a salinidade (pHionics, 2023).

$$R = \rho \frac{L}{A} . \quad (2a)$$

Ou ainda,

$$R = \frac{1}{\sigma} \frac{L}{A} . \quad (2b)$$

Assim, a condutividade é calculada pela equação (3):

$$\sigma = \frac{1}{R} \frac{L}{A} , \quad (3)$$

Onde L é o comprimento e A é a área da seção transversal do material. No caso do sensor de salinidade L será a distância que a corrente elétrica vai percorrer na água e A a área transversal do eletrodo que vai estar em contato com a água.

Com o circuito de uma fonte de corrente mostrado por Franco (2015), Figura 10, é possível regular o fornecimento de corrente na carga (representada por R_{mar}), o TJB tem sua corrente de coletor controlada pela tensão fornecida do amplificador operacional na sua base. A tensão na saída do amplificador é o resultado da comparação entre a tensão de referência do diodo zener e a tensão no emissor do TJB, que por sua vez depende da resistência do resistor R , assim a amplitude corrente na carga depende somente da resistência de R , uma vez que a tensão na porta não inversora será a mesma que a tensão da porta inversora. Dessa forma, mesmo com a alteração da resistência na carga (R_{mar}) a corrente se manterá a mesma, e é aproximadamente a mesma corrente que passa por R e pode ser calculada como:

$$i = \frac{9V - 4,3V}{800\Omega} = 5,87 mA$$

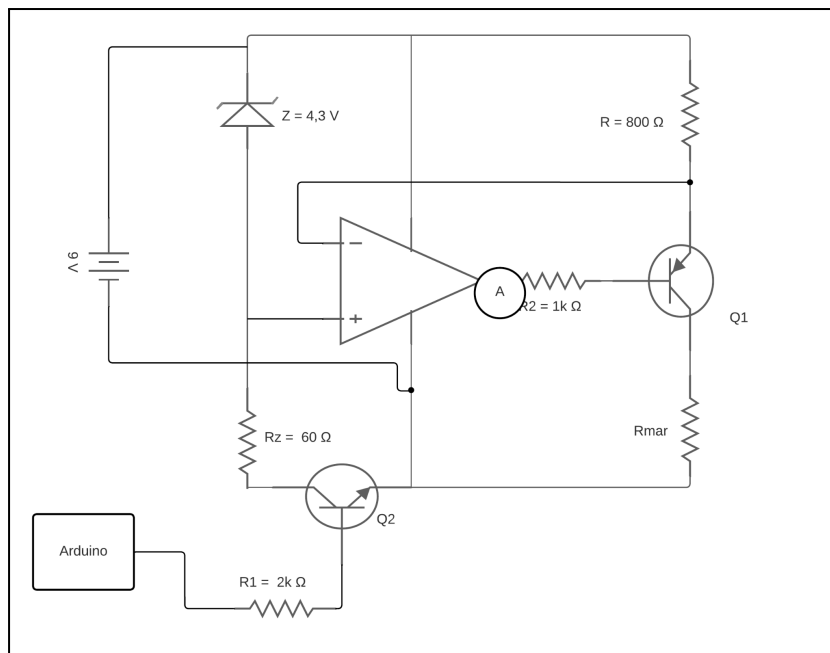
Que devido às não idealidades dos componentes, foi observado uma corrente de 5,35 mA na prática.

Assim, o sensor de salinidade representa uma parte significativa no consumo do módulo devido a sua fonte de corrente. Para mitigar o impacto no consumo de energia, foi incorporado um sistema de chaveamento que ativa a fonte de corrente somente durante a medição de salinidade, realizada em intervalos de 5 min.

Esse chaveamento é realizado através de um TBJ, identificado como Q2 no esquemático. O Arduino controla o TBJ, aplicando um sinal lógico alto em uma de suas saídas digitais na base do transistor para permitir o fluxo de corrente do coletor para o emissor, possibilitando o funcionamento adequado da fonte de corrente durante a medição. Quando o sinal lógico do Arduino está em nível baixo, a circulação de corrente é interrompida, resultando em um consumo menor do sensor de salinidade durante os períodos de inatividade.

Adicionalmente, foi implementado um regulador de tensão LM7809 no circuito para garantir uma alimentação estável (FRANCO, 2015). Dessa forma, o módulo é alimentado por uma bateria de 12 V, e o circuito da fonte de corrente opera com 9 V, adequando-se às necessidades do sensor de salinidade. A importância de uma alimentação estável está em manter a corrente constante, garantindo medições confiáveis da salinidade. Flutuações na corrente elétrica causadas por uma fonte instável podem afetar as medições, resultando em dados inconsistentes.

Figura 10 - Diagrama esquemático da fonte de corrente do sensor de salinidade



Fonte: Adaptado de FRANCO (2015)

As simulações foram realizadas utilizando o Multisim Live, uma ferramenta de simulação de circuitos elétricos. Ao alimentar o circuito com 9 V, observou-se que o consumo da fonte de corrente era de 81,52 mA, o que foi corroborado pela realização do mesmo procedimento em bancada, resultando em uma corrente fornecida pela fonte de 84,8 mA quando alimentada com 12 V o regulador, utilizando resistências de carga (R_{mar}) na faixa de operação do sensor, entre 200 e 360 Ω . Durante os momentos em que o TBJ do chaveamento não conduzia a corrente, na simulação a corrente consumida é de 8 μ A, já na prática, a corrente fornecida pela fonte era 7,7 mA.

A discordância dos valores de consumo de corrente entre a prática e a simulação se deve que o ambiente simulado não considerar algumas particularidades que influenciam o consumo prático, como o regulador de tensão (LM7809²), que pode consumir até 8 mA quando em *standby* (corrente quiescente), segundo o *datasheet*. Além disso, como mostra na Figura 10, o amplificador operacional continua sendo alimentado mesmo após o chaveamento estar aberto,

²Referência: <https://static1.squarespace.com/static/5416a926e4b09de8832655bc/t/54427037e4b03de3b67b895a/1413640247188/lm7809.pdf>

ao testar o CI TL072 em bancada observou-se que o consumo de corrente é de 3,7 mA, que é condizente com o *datasheet*³ que informa a quiescent current de no máximo 5 mA, mas tipicamente 2,8 mA.

Devido a restrições de tempo, não foi viável realizar alterações no layout do circuito já soldado na placa ilhada, para que assim o chaveamento impedisse a alimentação de mais componentes. É importante destacar que este é apenas o primeiro protótipo do projeto, futuras versões do projeto podem contemplar modificações no *layout*.

Com a consistência dos resultados obtidos nas simulações e nos testes práticos, estabeleceu-se que o consumo da fonte de corrente era de 84,8 mA. A utilização de um valor ligeiramente superior de corrente deve garantir que a bateria dimensionada seja adequada, permitindo uma margem de segurança, desta forma foi possível calcular o consumo durante o modo ativo, através da equação da potência dissipada (SADIKU, 2013), que considera a queda de tensão em volt (V) e a corrente em ampere (I), para calcular o consumo de energia em watt hora (E):

$$E_{ativo} = 9[V] \times 84,8 \text{ m}[A] \times 1[h] = 763,2 \text{ mWh}.$$

Já o consumo em modo baixo consumo, quando a chave está desligada:

$$E_{baixo\ consumo} = 9[V] \times 7,7 \text{ m}[A] \times 1[h] = 69,3 \text{ mWh}.$$

Ao analisar no osciloscópio o tempo entre o chaveamento e a fonte de corrente atingir o valor esperado de 5,3 mA, observou-se que é aproximadamente 106 μ s . Esse tempo será considerado, para que através de linhas de código as medições de salinidade só se iniciem quando a corrente atingir o valor ideal, e assim evitar medições incorretas.

3.1.2 Consumo do sensor de temperatura e turbidez

³Referência: <https://www.ti.com/product/TL072>

Os sensores comerciais utilizados no protótipo representam baixo consumo de corrente quando comparados com o restante do módulo. Ao analisar o *datasheet* do sensor de temperatura DS18B20 (Maxim Integrated Datasheet, 2022), sabe-se que o consumo quando está ativo é tipicamente 1 mA, podendo chegar a 1,5 mA. Já no modo *standby* (quando não está realizando medições) o consumo de corrente pode variar entre 750 a 1.000 nA. Como este sensor é alimentado com 5 V pode-se calcular o consumo do mesmo no modo ativo e no modo de baixo consumo:

$$E_{ativo} = 5[V] \times 1,5m[A] \times 1[h] = 7,5 mWh;$$

$$E_{baixo\ consumo} = 5[V] \times 1u[A] \times 1[h] = 5 uWh.$$

O sensor de turbidez ST100, ao ser testado em bancada, consumiu 6,27 mA quando alimentado com 5V, esperava-se um consumo maior devido o seu funcionamento, que possui um emissor infravermelho que emite luz na amostra de água e um receptor que mede a quantidade de luz recebida. A partir dessa medida, o sensor estima a turbidez da água.

No caso deste sensor o consumo é o mesmo realizando medidas ou não, assim o consumo será:

$$E_{ativo} = 5[V] \times 6,27m[A] \times 1[h] = 31,35 mWh;$$

$$E_{baixo\ consumo} = 5[V] \times 6,27 m[A] \times 1[h] = 31,35 mWh.$$

3.1.3 Consumo da placa Arduino Uno

O Arduino representa grande parcela do consumo do módulo, visto que a placa pode chegar a consumir 98,4 mA a depender da frequência do sinal de relógio

e das funcionalidades utilizadas (SEBASTIAN, 2020). Para reduzir o consumo do Arduino foi utilizado a funcionalidade de *sleep* do microcontrolador, que através de linhas de código, permite que o dispositivo desligue uma variedade de elementos internos para economizar a maior parte do consumo de energia. (TADDY CHUNG, 2023).

Ao consultar o *datasheet*⁴ do microcontrolador do Arduino, sabe-se que somente o chip ATmega328P (desconsiderando os outros componentes da placa Arduino) pode consumir até 14 mA quando está no modo ativo.

Figura 11 - Consumo ATmega328P

Parameter	Condition	Symbol	Min.	Typ. ⁽²⁾	Max.	Units
Power supply current ⁽¹⁾	Active 4MHz, V _{CC} = 3V	I _{CC}		1.5	2.4	mA
	Active 8MHz, V _{CC} = 5V			5.2	10	mA
	Active 16MHz, V _{CC} = 5V			9.2	14	mA
	Idle 4MHz, V _{CC} = 3V			0.25	0.6	mA
	Idle 8MHz, V _{CC} = 5V			1.0	1.6	mA
	Idle 16MHz, V _{CC} = 5V			1.9	2.8	mA
Power-down mode ⁽³⁾	WDT enabled, V _{CC} = 3V				44	μA
	WDT enabled, V _{CC} = 5V				66	μA
	WDT disabled, V _{CC} = 3V				40	μA
	WDT disabled, V _{CC} = 5V				60	μA

Fonte: Datasheet do fabricante.

No primeiro momento foi verificado na prática o consumo da placa Arduino em modo ativo, para isso todos os componentes que compõem o módulo de medição foram desconectados, para que fosse analisado somente o consumo da placa. Ao ligar o amperímetro em série com alimentação do microcontrolador, observou-se que a corrente consumida em uma fonte de 12 V era de 27,1 mA, a partir disso foi calculado o consumo para modo ativo da placa:

$$E_{ativo} = 12[V] \times 27,1 \text{ m}[A] \times 1[h] = 325,2 \text{ mWh}.$$

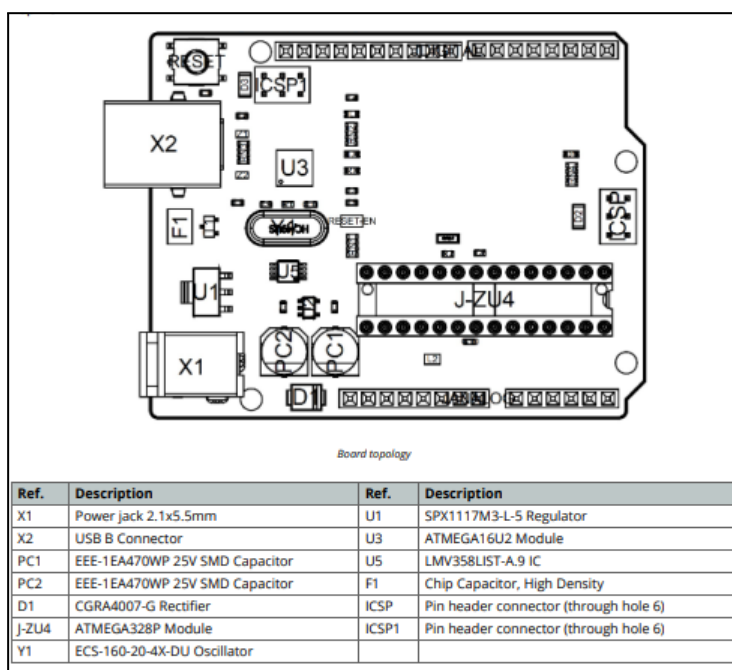
Levando em consideração o consumo do ATmega328P fornecido pelo fabricante de 14 mA, considera-se que a diferença de consumo até 27,1 mA é devido a outros componentes da placa: reguladores de tensão, leds, chip de

⁴ Referência: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/doc7799.pdf>

interface USB (ATMEGA16U2), entre outros. Como mostra o esquemático da Figura 11.

O regulador de tensão de 5 V representado por U1 na Figura 12, segundo seu *datasheet*⁵ tem um consumo de 5 mA. Outro componente que poderia aumentar o consumo total da placa seria o chip ATMEGA 16U2, representado por U3, que pode consumir até 21 mA.

Figura 12 - Esquemático placa Arduino



Fonte: Datasheet do fabricante.

Para determinar o gasto em modo baixo consumo o mesmo teste foi feito com a placa sob modo de *sleep*, e foi notado que a corrente consumida era de 12 mA, assim o consumo é:

$$E_{\text{baixo consumo}} = 12[V] \times 12m[A] \times 1[h] = 144 \text{ mWh.}$$

É possível alcançar menor consumo de corrente no Arduino como propõe TADDY CHUNG (2023) , no entanto, para o microcontrolador voltar para o modo

⁵Referência:<https://assets.maxlinear.com/web/documents/sipex/datasheets/spx1117.pdf>

ativo é necessário interrupções externas, que não é possível no caso deste protótipo. Mas pode ser um incremento para trabalhos futuros desenvolver um sistema externo para permitir maior autonomia.

Na solução sugerida por Pankaj Khatri (2023) e que foi aplicada neste protótipo, através da biblioteca LowPower⁶ é possível desativar o ADC e o BOD (*Brown Out Detector*) e o Arduino volta ao modo ativo conforme tempo programado.

3.1.4 Consumo do módulo SD

Ao consultar o *datasheet* do módulo SD informa que o consumo de corrente pode variar de 0,2mA a 80 mA, para que fosse possível determinar o consumo de maneira mais precisa foi feita análise do módulo SD em bancada. Para isso, o mesmo foi colocado em funcionamento na protoboard e a alimentação foi ligada em série com um amperímetro. Foi observado que a corrente consumida durante leitura e gravação no cartão SD era 22,1 mA, e 0,2 mA quando não estava em funcionamento. Considerando a alimentação de 5 V, o consumo será:

$$E_{ativo} = 5[V] \times 22,1 \text{ m}[A] \times 1[h] = 110,5 \text{ mWh};$$

$$E_{baixo consumo} = 5[V] \times 0,2 \text{ m}[A] \times 1[h] = 1 \text{ mWh}.$$

3.1.5 Consumo do módulo *Bluetooth*

O módulo *Bluetooth* HC-05, por sua vez, informa no *datasheet* que consome até 40 mA durante o pareamento. Sabe-se que esse cenário de pareamento não vai acontecer continuamente por 12 h, mas somente quando o usuário estiver próximo ao módulo e desejar realizar uma medição momentânea. Para minimizar o efeito no consumo, o módulo ficará disponível para pareamento por no máximo 15 min, considerando que esse é o tempo necessário para o usuário utilizar a funcionalidade

⁶ Referência: <https://github.com/rocketscream/Low-Power>

e depois deixar o módulo em campo realizando as medições. Sendo assim, a alimentação de 5 V no HC-05 será feita com uma porta digital que vai fornecer um sinal de 5 V por 15 min e após isso a porta apresentará um nível lógico baixo, dessa forma esse componente será desligado, uma vez que não está sendo usado.

O consumo no modo ativo do módulo *Bluetooth* representa o tempo que ficará ligado:

$$E_{ativo} = 5[V] \times 40m[A] \times 1[h] = 200 \text{ mWh}.$$

E equação acima considera que ficará ativo por uma hora, mas como funcionará por apenas 15 min, o consumo pode ser calculado como:

$$E_{ativo} = \frac{200}{4} = 50 \text{ m[Wh]} .$$

Assim o consumo em 1 hora também será 50 mWh. Já em modo baixo consumo será 0 Wh, uma vez que está desligado.

3.1.6 Consumo da módulo RTC

O módulo RTC DS3231 apresenta no seu *datasheet* um consumo de 300 μ A para seu modo ativo e 170 μ A para o modo *standby*. Como em ambos os casos a corrente é baixa, não foi implementado nenhuma aplicação para desligar o componente, dessa forma o consumo para modo ativo e modo baixo consumo é o mesmo:

$$E_{ativo} = 5[V] \times 300 \text{ u[A]} \times 1[h] = 1,5 \text{ mWh};$$

$$E_{baixo consumo} = 1,5 \text{ mWh}.$$

3.1.7 Dimensionamento da bateria

Com o consumo de todos os componentes definidos foi possível calcular o consumo total do módulo, para isso calculou-se considerando o funcionamento de 12 h e as transições entre modo ativo e modo de baixo consumo.

Iniciou-se com o sensor de salinidade, considerando que o modo ativo acontecerá a cada 5 min, a partir do consumo em Wh é possível calcular o consumo em watt minuto e em watt segundo, conforme:

$$E = \frac{0,7632 \text{ Wh}}{60 \text{ min}} = 0,01272 \text{ Wmin};$$

$$E = \frac{0,01272 \text{ Wm}}{60 \text{ segundos}} = 212 \text{ } \mu\text{Ws}.$$

A cada uma hora, o consumo de modo ativo acontecerá a cada 5 min, ou seja, 12 vezes. Embora cada ciclo durará 1,5 s, conforme estimado na Seção 2.1, durante a calibração do sensor de salinidade observou-se que medidas mais estáveis eram realizadas 15 s após a ligação da fonte de corrente. Assim o consumo no modo ativo é calculado na equação a seguir:

$$E = 212 \text{ } \mu\text{Ws} \times 15 \text{ segundos} \times 12 \text{ vezes} = 38,16 \text{ mWh}.$$

O consumo em 12 h será:

$$E = 38,16 \text{ mWh} \times 12 \text{ h} = 457,92 \text{ mWh}.$$

E para o cálculo do modo baixo consumo, considerou-se o consumo em 12 h, dessa forma:

$$E = 12 * 69,3 \text{ mWh} = 831,6 \text{ mWh}.$$

O mesmo procedimento foi feito para os demais componentes, no entanto foi considerado o tempo de modo ativo de 1,5 s, diferente do sensor de salinidade, assim foi possível preencher a Tabela 1.

Tabela 1 - Consumo de cada componente

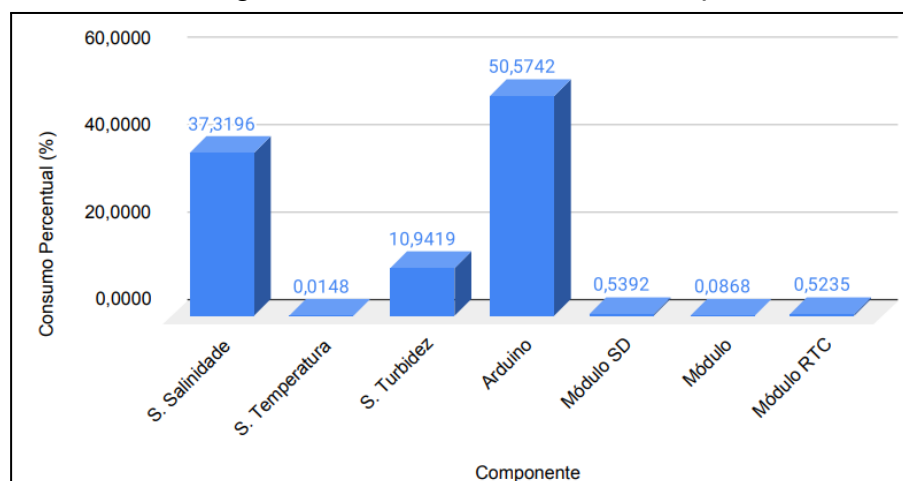
Componente	Modo ativo (Wh)	Modo ativo em 12h (mWh)	Modo baixo consumo(mWh)	Modo baixo consumo em 12h(Wh)	Consumo Total em 12h (Wh)	Consumo Equivalente (%)
S. Salinidade	0,7632	457,92	0,0693	0,8316	1,2895	37,3196
S. Temperatura	0,0075	0,45	0,000005	0,00006	0,0005	0,0148
S. Turbidez	0,03135	1,881	0,03135	0,3762	0,3781	10,9419
Arduino	0,3252	19,512	0,144	1,728	1,7475	50,5742
Módulo SD	0,1105	6,63	0,001	0,012	0,0186	0,5392
Módulo <i>Bluetooth</i>	0,05	3	0	0	0,0030	0,0868
Módulo RTC	0,0015	0,09	0,0015	0,018	0,0181	0,5235
Total	1,28925	489,483	0,247155	2,96586	3,4553	100,0000

Fonte: Autor

O Arduino corresponde a 50,57% do consumo do módulo, este consumo poderia ser menor caso fosse alimentado com a tensão mínima necessária para o microcontrolador (5 V). No entanto, a tensão de alimentação é de 12 V. Na forma que o módulo foi montado, a bateria é diretamente conectada ao Arduino, e através do pino Vin do microcontrolador é alimentado a fonte de corrente do sensor de salinidade. O pino V_{in} está conectado diretamente ao pino de entrada do regulador de tensão incorporado nas placas Arduino (JOSÉ BAGUR, 2023).

A influência de cada componente no consumo do módulo é mostrado na Figura 13.

Figura 13 - Consumo de cada componente



Fonte: Autor

Cabe destacar a importância do chaveamento com o TJB para diminuir o consumo do módulo, caso a fonte de corrente funcionasse durante as 12 h de funcionamento do módulo, resultaria em um consumo de 9,15 Wh.

Com o consumo de todo o módulo definido, foi possível selecionar a bateria que garantiria a autonomia do módulo, o consumo de 3,455 Wh pode ser interpretado em mAh:

$$E = V \times I \times 1h \quad (4)$$

$$3,455 Wh = 12 V \times I \times 1h$$

$$I = 287,9 mAh$$

Assim, considera-se necessário uma bateria de pelo menos 300 mAh.

Visando a expansão do módulo em trabalhos futuros, adicionando mais sensores e componentes ou ainda ampliando o tempo de operação para mais de 12 horas, buscou-se uma bateria de no mínimo 2 Ah. A escolha da bateria também está relacionada com seu tamanho físico, visto que deve acomodar-se dentro do módulo.

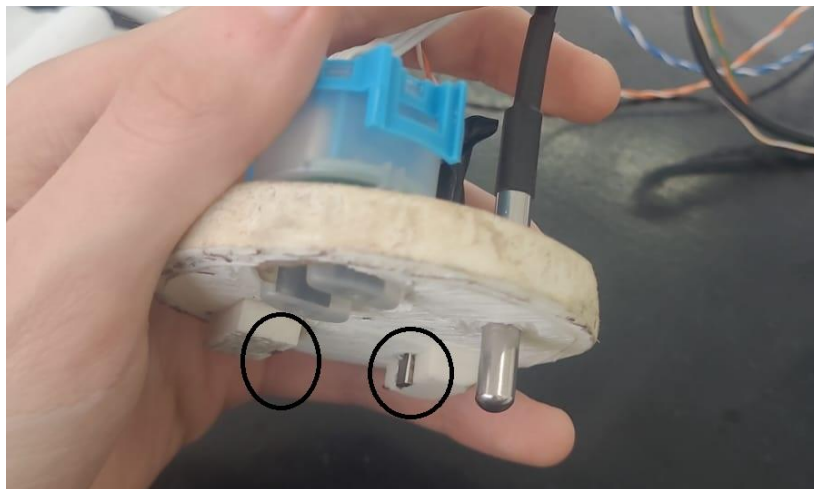
3.2 Calibração do sensor de salinidade

3.2.1 Aspectos construtivos

As duas placas de aço inox que fazem a condução da corrente na água são fixadas em uma peça⁷ feita na impressora 3D do laboratório IFMaker, utilizando a impressora *FLASHFORGE FINDER* e o filamento PLA branco. Essa mesma peça também faz a fixação dos outros dois sensores do módulo, e por fim é encaixada no cano de PVC que compõe o módulo.

⁷ Modelo disponível em: <https://thangs.com/mythangs/file/920189?source=Recent>

Figura 14 - Peça 3D para fixação dos sensores



Fonte: Autor

Na Figura 13 é mostrado a fixação dos sensores, está destacado na imagem com círculos onde fica posicionado as hastes de aço inox, assim o sensor de salinidade é montado conforme demonstrado anteriormente na Figura 7 na seção 3.1.1.

O sensor recebe quatro fios, dois para cada uma das hastes. Dois desses fios são referentes ao circuito da fonte de corrente, que injetam na água uma corrente de 5,3 mA, já os outros dois fios restantes são responsáveis pela medição da queda de tensão entre as placas metálicas na água, assim um fio vai até a pino GND do Arduino e o outro até uma das entradas analógicas do microcontrolador.

No microcontrolador, a condutância é obtida através da equação (1) da seção 3.1.1 :

$$V = R \times I \quad (1)$$

$$R = \frac{V_{out}}{I_{in}}$$

$$G = \frac{I_{in}}{V_{out}}$$

O microcontrolador utilizado é o Arduino Uno, que dispõe de um ADC de 10 bits, assim a resolução em volt é:

$$Res. = \frac{V_{in}}{2^{N_{bits}}} = \frac{5}{1023} = 4,88 \text{ mV/bit}.$$

Uma vez que a corrente é constante em 5,3 mA, a resolução em ohms será:

$$Res. = \frac{4,88 \text{ mV/bit}}{5,3 \text{ mA}} = 0,92 \text{ } \Omega/\text{bit}.$$

Para calcular a condutividade (S/cm) é necessário considerar os aspectos construtivos do sensor conforme a lei de Ohm (SADIKU, 2013. p. 27), demonstrado anteriormente na seção 2.1.1 pela equação (3)

$$\sigma = \frac{1}{R} \frac{L}{A}. \quad (3)$$

As medidas teóricas de distância entre as duas hastes do sensor (L) e a área transversal (A), são de 2,5 cm e 0,25 cm², mas ao fazer as medidas com um paquímetro (MARBERG, com resolução de 0,05 mm) observou-se que a distância entre as placas era de 2,2 cm e a área de 0,225 cm². Assim condutividade pode ser calculada através da resistência medida:

$$\sigma = \frac{1}{R} \frac{2,2 \text{ cm}}{0,225 \text{ cm}^2}.$$

Assim:

$$\sigma = \frac{9,78}{R} [S/cm].$$

Ou ainda:

$$\sigma = \frac{9780}{R} [mS/cm].$$

Sabendo as dimensões é possível calcular a resolução em termos de condutividade

$$Res. = \frac{9780}{0,92 \text{ } \Omega/\text{bit}} = 10,63 \text{ S/cm/bit}.$$

Cabe destacar como os aspectos construtivos podem influenciar nas medições, variações nas dimensões do sensor vai influenciar a medida, outro motivo

que torna necessário a calibração para compensar tais erros.

3.2.2 Processo de calibração

A calibração, segundo vocabulário internacional de metrologia (VIM) (INMETRO, 2012) é o ato de estabelecer a relação entre valores medidos por um instrumento e os valores padrões.

O teor de sal na água pode ser estimado através da sua condutividade elétrica, que está relacionado com a quantidade de íons presentes na água, que por sua vez provêm de sais dissolvidos na água, assim quanto mais salina for a solução maior será a condutividade (ALEX CARD, 2014). No entanto, o sensor foi calibrado através de amostras com salinidade conhecidas. Mas, para fins de comparação foi usado o condutivímetro da MS TecnoPON: mCA-150-1⁸, disponível no IFSC-Itajaí.

A unidade de medida da salinidade pode variar de acordo com a aplicação, sendo comum utilizar psu (*practical salinity units*), ppt (*parts per thousand*), que é a unidade padrão, ou ainda em g/kg que é equivalente a ppt, (CASTELLO; KRUG, 2015. p. 113) . Mas devido a relação direta entre salinidade e condutividade, este também é um parâmetro frequentemente utilizado, assim como neste trabalho que aborda salinidade através de condutividade e/ou ppt, a Tabela 2 mostra a relação entre as unidades de salinidade utilizadas, conforme as amostra preparadas para a calibração.

Tabela 2 - Unidades de medida de salinidade

Amostras (23 °C)	Condutividade (mS/cm)	Salinidade (ppt)
Amostra 1	44,2	30
Amostra 2	46,8	32
Amostra 3	52	36
Amostra 4	57,1	40

Fonte: Adaptado de (ALEX CARD, 2014).

Os valores de condutividade da Tabela 2 foram obtidos através dos valores de salinidade, através de calculadoras de conversão *online*⁹ que utilizam o algoritmo de

⁸ Datasheet disponível em: <https://www.tecnoPON.com.br/condutivimetros/mca-150-1>

⁹ Conversores online baseados no PSS-78:

conversão proposto pela UNESCO em 1983 (PSS-78 - practical-salinity-scale), conforme demonstra SCHULZ, (2008).

Para produzir as amostras com salinidade variada, considerou-se a salinidade da água do mar, que varia entre 30 e 40 ppt ou ainda 30 - 40 g/kg. Ou seja, cada litro de água marinha pode conter de 30 até 40 gramas de sal (TALLEY, 2002).

Foram preparadas quatro amostras de salinidade de referência para calibração do sensor, com diferentes quantidades de sal de cozinha: 30 ppt, 32 ppt, 36 ppt e 40 ppt, para um volume de 250 ml de água para cada amostra.

Considerou-se suficiente quatro amostras para criar uma curva de calibração com aproximação linear. Ao utilizar algumas concentrações conhecidas e medir as salinidades correspondentes a essas concentrações, é possível determinar a curva de calibração, que mostra relação entre uma indicação e o valor medido correspondente (INMETRO, 2012). A expressão matemática dessa curva permite então determinar a concentração desconhecida de uma amostra qualquer.

As amostras para calibração foram produzidas no LAqua, e para conhecer a quantidade de sal de maneira mais exata, foi utilizado uma balança (Modelo: Marte AS5000C¹⁰, com incerteza de 0,01 g para fazer a medição do sal. Inicialmente o recipiente que receberia a amostra era colocado na balança, e então ela era zerada. Em seguida, era adicionada a quantidade de sal necessária e era misturado na água com auxílio de um agitador magnético. Por fim, cada amostra era completada com 250 ml de água através de um balão volumétrico.

<https://reefapp.net/en/salinity-calculator>

<http://www.fivecreeks.org/monitor/sal.shtml>

<https://salinometry.com/stp-conductivity-calculator/>

¹⁰ Datasheet: <https://marte.com.br/wp-content/uploads/2022/02/Manual-Balancas-AL-AS-v5.0.pdf>

Figura 15 - Equipamentos utilizados para preparação das amostras.



Fonte: Autor

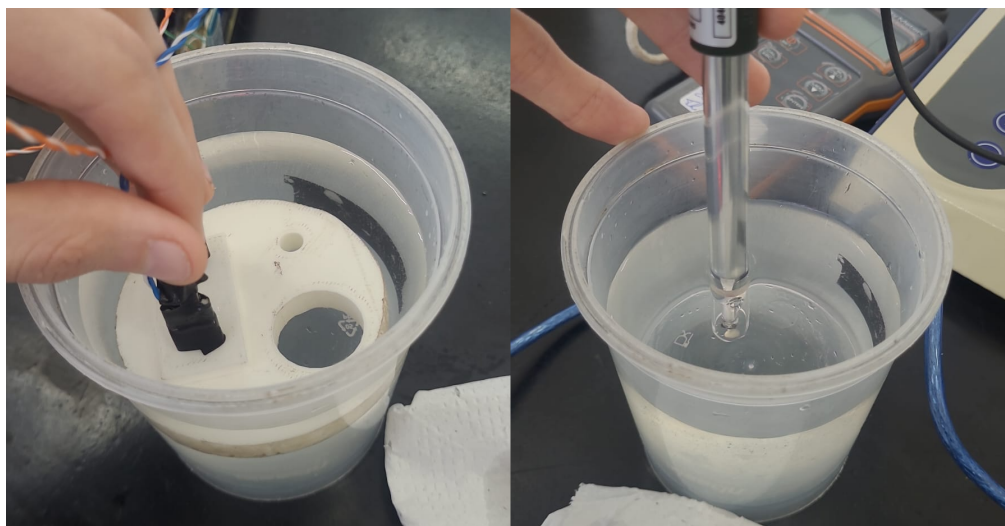
Uma vez que cada amostra estava pronta a primeira medição era feita com o condutivímetro, para isso foram realizadas cinco medições de cada uma das quatro amostras e calculada a média das medidas obtidas com o condutivímetro. Em cada medição a ponta de prova era retirada da solução e esta era agitada novamente, então era feita uma nova leitura. Em seguida o mesmo procedimento era feito com o sensor, buscou-se mergulhar o sensor e condutivímetro sempre na mesma profundidade de água. No início e no final do processo de medições foi verificada a temperatura da água de 23 °C utilizando o termômetro Minipa MV-362¹¹, que possui uma precisão de ± 1 °C para a faixa de -30 °C ~ 250 °C.

Durante os testes com o sensor, notou-se uma dificuldade em obter medidas de condutividade estáveis, uma vez que as leituras apresentavam variações enquanto o sensor estava em contato com as amostras. No entanto, ao comparar com o condutivímetro de bancada, observou-se que este levava cerca de 15 segundos para estabilizar a leitura. Portanto, optou-se por aguardar o mesmo

¹¹ http://www.minipa.com.br/images/proposta_tecnica/Mv-362-1301-BR.pdf

período antes de realizar uma medida com o sensor desenvolvido, o que resultou em leituras mais consistentes.

Figura 16- Sensor de salinidade(esquerda) e condutivímetro(direita) sob teste.



Fonte: Autor

3.2.3 Resultados da calibração do sensor de salinidade

Com as medições para calibração de cada amostra realizada, foi preenchida a Tabela 3.

Tabela 3 - Dados para calibração do sensor de salinidade

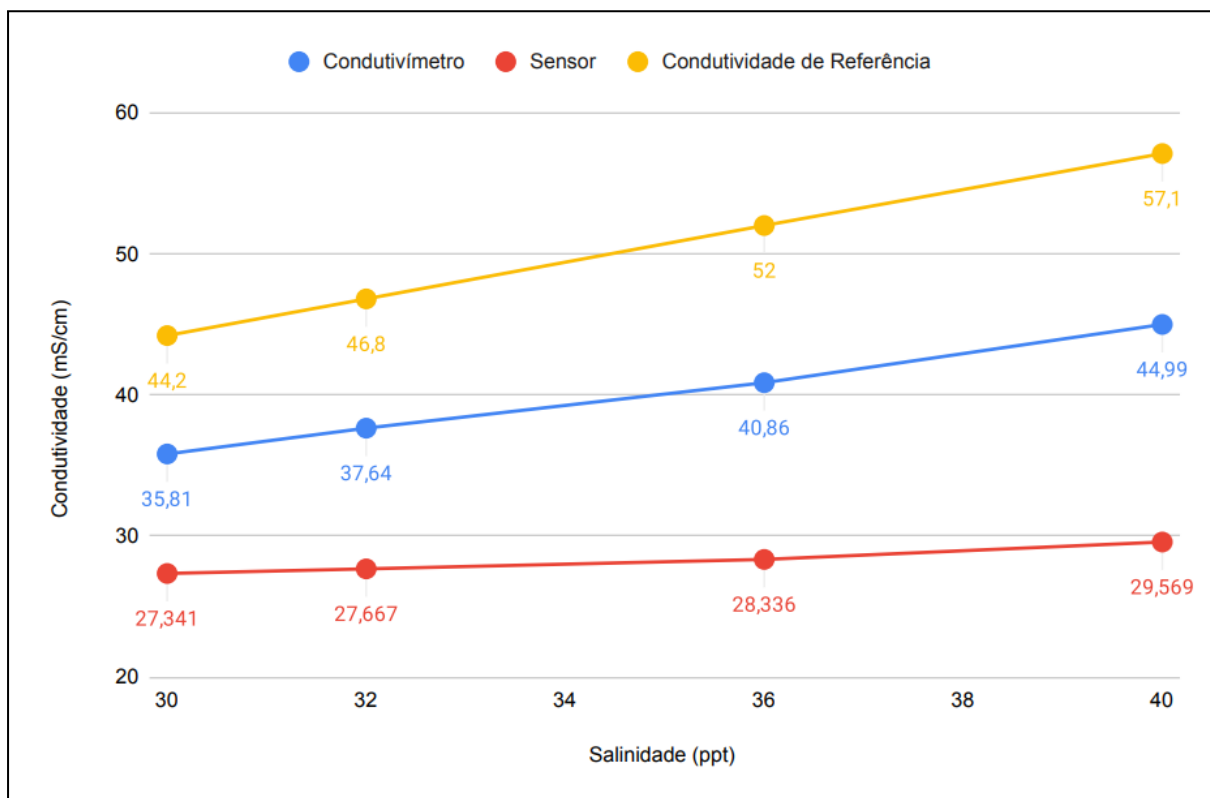
Amostras	Condutividade de Referência (mS/cm)	Condutivímetro (valor médio) (mS/cm)	Desvio Padrão	Sensor (valor médio) (mS/cm)	Desvio Padrão
A1	44,2	35,81	0,226	27,341	1,106
A2	46,8	37,64	0,154	27,667	0,817
A3	52	40,86	0,116	28,336	0,973
A4	57,1	44,99	0,251	29,569	1,172
Variação %	29,18	25,63		8,15	

Fonte: Autor

No primeiro momento observou-se a diferença entre os valores medidos

através do condutivímetro e do sensor desenvolvido, em relação à condutividade de referência, bem como a sensibilidade do sensor desenvolvido, que demonstra uma variação da faixa de medição de 8,15%, enquanto o condutivímetro apresentou uma variação de 25,63% nas medidas de condutividade entre as amostras.

Figura 17 - Comparação entre as curvas de condutividade



Fonte: Autor

A curva da condutividade de referência utiliza os dados da Tabela 2, a reta produzida pela medidas do condutivímetro tem uma inclinação mais próxima da curva de referência, mas ainda não atinge os valores corretos de salinidades, alguns fatores podem ocasionar esse resultado, como a possibilidade de o aparelho não estar calibrado ou ainda mau funcionamento do condutivímetro ou ponta de prova. Sabendo que o condutivímetro não será utilizado como referência para calibração, mas apenas para um acompanhamento das medidas de salinidade, não investigou-se o que poderia causar o *offset* em relação a curva de referência.

Conforme demonstrado anteriormente na equação (3), a condutividade depende de L distância percorrida pela corrente e A , área da seção transversal. A

razão $\frac{L}{A}$ do condutivímetro é de 1 cm^{-1} (dado do fabricante), no entanto, o sensor desenvolvido possui uma razão de aproximadamente 10 cm^{-1} , como demonstrado na seção 2.2.1, ou seja, a distância entre os dois eletrodos do condutivímetro é menor, a Figura 17 mostra a ponta de prova, que pode ser comparada com a Figura 13.

Mesmo que a sensibilidade do sensor seja menor que o condutivímetro, ele é capaz de realizar diferentes medidas nas diferentes amostras, de forma com a calibração conseguirá realizar medidas de salinidade.

Figura 18 - Ponta de prova do condutivímetro.



Fonte: Autor

Sabe-se que a temperatura da água irá influenciar na sua capacidade de conduzir corrente (BARRON, 2005), a Tabela 4 demonstra como uma variação de temperatura pode afetar a condutividade nas amostras de salinidade consideradas para a calibração, considerando a conversão pela equação de PSS-78. Dessa forma considerou-se a condutividade de referência para cada intervalo de temperatura, conforme tabela.

Tabela 4 - Condutividade referência em diferentes temperaturas

Salinidade (ppt)	Condutividade a 10° C (mS/cm)	Condutividade a 15° C (mS/cm)	Condutividade a 20° C (mS/cm)	Condutividade a 23° C (mS/cm)	Condutividade a 25° C (mS/cm)
30	33,15	37,37	41,74	44,2	46,25
32	35,14	39,6	44,23	46,8	49
36	39,06	44,01	49,13	52	54,41
40	42,91	48,33	53,95	57,1	59,73

Fonte: Autor

Para minimizar os efeitos da mudança de temperatura na medição de condutividade, considerou-se o coeficiente de temperatura proposto pela norma *Water quality - Determination of electrical conductivity* (ISO, 1985). A norma ISO 7888 apresenta um fator de correção de condutividade para 25 °C, assim é possível corrigir as medidas realizadas pelo sensor para as temperaturas referentes aos intervalos a serem utilizados na calibração.

O Anexo I apresenta os fatores de correção propostos pela norma. Foi considerado a média dos fatores de correção para cada temperatura.

Uma vez que sabe-se a condutividade em 25 °C, é possível fazer a correção para as demais temperaturas. Assim a condutividade corrigida das medidas realizadas com o sensor desenvolvido estão dispostas na Tabela 5.

Tabela 5 - Medidas de condutividade do sensor desenvolvidos corrigidas

Amostras	Condutividade a 10° C Fator de Correção: 1,4108	Condutividade a 15° C Fator de Correção: 1,2417	Condutividade a 20° C Fator de Correção: 1,1044	Condutividade a 23° C Fator de Correção: 1,0	Condutividade a 25° C Fator de Correção: 1,0336
Amostra 1	20,03	22,76	24,76	27,341	28,26
Amostra 2	20,27	23,03	25,05	27,667	28,60
Amostra 3	20,76	23,59	25,66	28,336	29,29
Amostra 4	21,66	24,61	26,77	29,569	30,56

Fonte: Autor

Com os dados da Tabela 5 e os valores de salinidade de referência foi determinada a curva de calibração para cada intervalo: 10-14,99 °C; 15-19,99 °C; 20-22,99 °C e 23-24,99 °C e 25-29,99 °C

A Tabela 6 mostra os valores dos coeficientes "a" e "b" para cada uma das cinco curvas de calibração. Seja a equação da reta $y = a * x + b$, y é a salinidade e x é a condutividade. As curvas estão também no Apêndice I.

Tabela 6 - Coeficiente das curvas de calibração do sensor de salinidade

Intervalo de temperatura	Coeficiente angular (a)	Coeficiente Linear (b)
10-14,99°C	6,06	-90,9
15-19,99°C	5,33	-90,9
20-22,99°C	4,74	-90,9
23-24,99°C	4,44	-90,9
25-29,99°C	4,3	-90,9

Fonte: Autor

3.3 Calibração do sensor de temperatura

O modelo usado neste protótipo é o DS18B20, este é um sensor comercial à prova d'água que permite fácil integração com o Arduino através de bibliotecas como a *DallasTemperature.h*¹². Para a calibração será utilizado como padrão de referência o termômetro Minipa MV-362¹³ disponível no câmpus, que possui uma precisão de ± 1 °C para a faixa de -30 °C ~ 250 °C. Apesar de não ser possível utilizar um termômetro de referência mais preciso que esse, é importante destacar que o sensor de temperatura utilizado apresenta um erro baixo; conforme indicado no *datasheet*¹⁴ fornecido pelo fabricante, para temperaturas entre -10 °C e 85 °C, o sensor apresenta um erro de ± 0.5 °C.

Segundo o estudo realizado por Simonassi et al. (2011), ao observar a temperatura da água do mar em Santa Catarina, percebeu-se que durante inverno e primavera a temperatura média foi de 17,6 °C e 18,1 °C, respectivamente. Castello e Krug (2015), por outro lado, mostram que a temperatura máxima na região equatorial é de 28 °C a 29 °C.

Considerando a faixa de medição que o sensor suporta e a possibilidade da

¹² Disponível em:

<https://github.com/milesburton/Arduino-Temperature-Control-Library/blob/master/DallasTemperature.h>

¹³ http://www.minipa.com.br/images/proposta_tecnica/Mv-362-1301-BR.pdf

¹⁴ Disponível em: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/DS18B20.pdf>

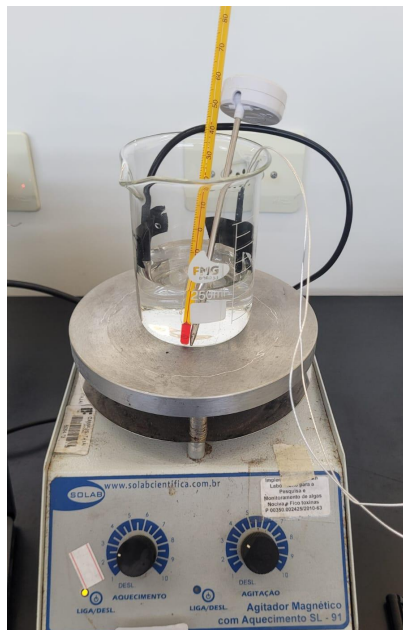
temperatura da água do mar atingir valores maiores ou menores, foi utilizado uma faixa de calibração maior, de 10 °C até 30 °C.

A calibração foi realizada por meio do método de calibração indireta. Nesse processo, a grandeza é medida tanto pelo equipamento a ser calibrado quanto pelo sensor de referência. Posteriormente, as duas medições são comparadas para efetuar os ajustes necessários no equipamento calibrado. (ALBERTAZZI, 2017, p. 121).

Para isso iniciou-se as medições com água refrigerada em aproximadamente 7,3 °C, e foram realizadas medições com o sensor a ser calibrado e o sensor de referência a cada 5 min, até que a temperatura da água estabilizasse. Uma vez que a temperatura da amostra estava estabilizada (em 23 °C), foi feita uma média de cinco medições. Em seguida foi utilizado o mesmo equipamento usado na calibração do sensor de salinidade, o agitador magnético, que também possui a funcionalidade de aquecimento. Inicialmente pretendia-se estabilizar a temperatura da água em 30 °C, para fazer novamente uma média de medições, no entanto devido a pouca quantidade de água utilizada na amostra a temperatura passou da temperatura desejada, assim foram feitas medições até 39,3 °C.

A Figura 18 mostra a disposição dos acessórios utilizados na calibração, e no Apêndice II estão dispostos os dados das medidas realizadas.

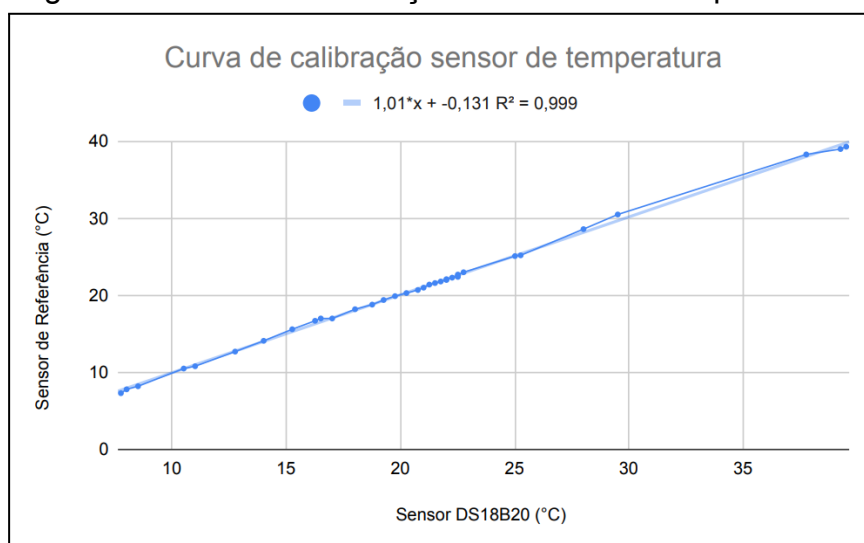
Figura 19 - Equipamentos para calibração do sensor de temperatura



Fonte: Autor

Com as informações das medições do sensor de referência e do sensor DS18B20, foi possível determinar a curva de calibração para o sensor de temperatura através de regressão linear. Percebe-se que o sensor de temperatura necessita de poucos ajustes, visto que as suas medições são bastantes próximas do sensor de referência, como mostra o coeficiente de correlação de 99,9%.

Figura 20- Curva de calibração do sensor de temperatura



Fonte: Autor

3.4 Calibração do sensor de turbidez

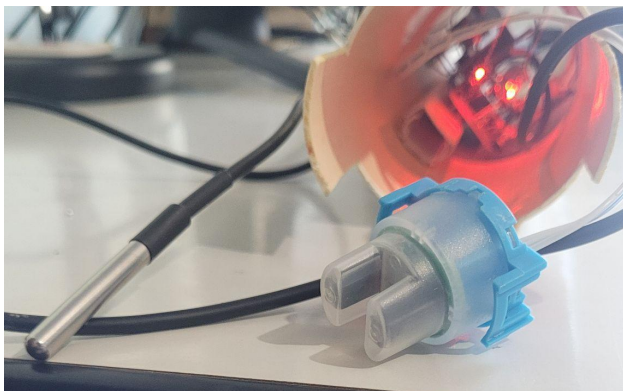
Turbidez é um indicativo de partículas em suspensão na água, assim, é também um indicador da transparência da água (TREVATHAN et al., 2022). A medição da turbidez é importante porque pode indicar a presença de sedimentos, algas e outros organismos que podem afetar a qualidade da água, como também indicar a quantidade de luz disponível para a fotossíntese (KITCHENER et al., 2017).

O sistema de medição de turbidez se baseia no princípio de que a luz que incide em uma amostra será dispersa pelas partículas em suspensão, a turbidez é uma medida da quantidade de luz que é absorvida pelas partículas suspensas no líquido. A unidade de medida de turbidez é NTU (*Nephelometric Turbidity Units* ou Unidades Nefelométricas de Turbidez) (WANG et al. 2018).

Este sensor utiliza um LED infravermelho como fonte de luz e um fototransistor infravermelho para detectar a quantidade de luz não obstruída pela água turva. À medida que o nível de turbidez líquida aumenta, altera a resistência no fototransistor infravermelho, resultando em uma alteração de tensão correspondente que o sensor registra.

O sensor usado para esse projeto é o ST100, que possui uma faixa de operação de 0 a 1000 NTU, suficiente para a aplicação do projeto, segundo o trabalho de VALENTIM (2017) ao analisar a turbidez em um estuário a maior variação foi de $408,97 \pm 293,86$ NTU e segundo o material de apoio à estruturação da vigilância e do controle da qualidade da água para consumo humano, do Ministério da Saúde, a turbidez da água está entre 3 a 500 unidades, e água potável deve ser menor que 1 NTU.

Figura 21 - Sensor ST100



Fonte: Autor

A calibração foi feita usando o turbidímetro TB-1000P¹⁵ disponível no LAqua do IFSC Câmpus Itajaí, foram feitas medições de amostras com o turbidímetro e também foi observado a leitura do sensor na mesma amostra. Com isso foi possível fazer uma aproximação linear da leitura do sensor, utilizando o turbidímetro de bancada como referência. Fazendo assim uma calibração indireta, como fez Wang, Rajib, Collins e Grieve (2018) ao desenvolver um turbidímetro de baixo custo e utilizar um turbidímetro para gerar valores de referência de turbidez.

Não foi notada interferência da luz externa nas medições do sensor. Isto é, ao alterar a intensidade de luz ao redor da amostra as medições se mantiveram as mesmas. Exceto quando o sensor estava fora da água e a luz era aplicada diretamente sobre o sensor, no entanto é um caso que não irá ocorrer durante a aplicação do módulo, porém, ao ser utilizado com a armadilha luminosa, recomenda-se o módulo fique posicionado abaixo da fonte de luz da armadilha, para garantir medições confiáveis.

No primeiro momento buscou-se observar a linearidade do turbidímetro de referência, para isso foram feitas 12 amostras com diferentes níveis de turbidez, foi utilizado amido de milho e achocolatado para produzir amostras de água com turbidez variadas, pois são substâncias acessíveis e promovem o resultado desejado, idealmente poderia ser utilizado soluções padrão de formazina conforme recomenda a norma ISO 7027:1999 (MÜNZBERG et al., 2016), no entanto essa possibilidade foi descartada devido ao custo para aquisição e o risco envolvendo os

¹⁵ <https://www.tecnopon.com.br/turbidimetros/tb-1000-p>

ingredientes da solução, uma vez que é composta por sulfato de hidrazina, tóxica e cancerígena, e hexametileno-tetramina pode causar irritação nos olhos, sistema respiratório e rosto (CARDOSO, 2011).

Outros trabalhos usam diferentes métodos para produzir amostras de turbidez, como Azman et al. (2016) que utilizou argila dissolvida em água, ou Wang et al.(2018) que fez uso de uma emulsão de partículas de gordura.

Por fim, ao comparar amostras de formazina com amostras de cloreto de sódio e sal sódio de fluoresceína, Racey (2019) conclui que vários materiais podem ser utilizados para gerar curvas de calibração padrão com coeficientes de regressão próximos a 1, validando a hipótese que padrões de calibração de turbidez alternativos são válidos.

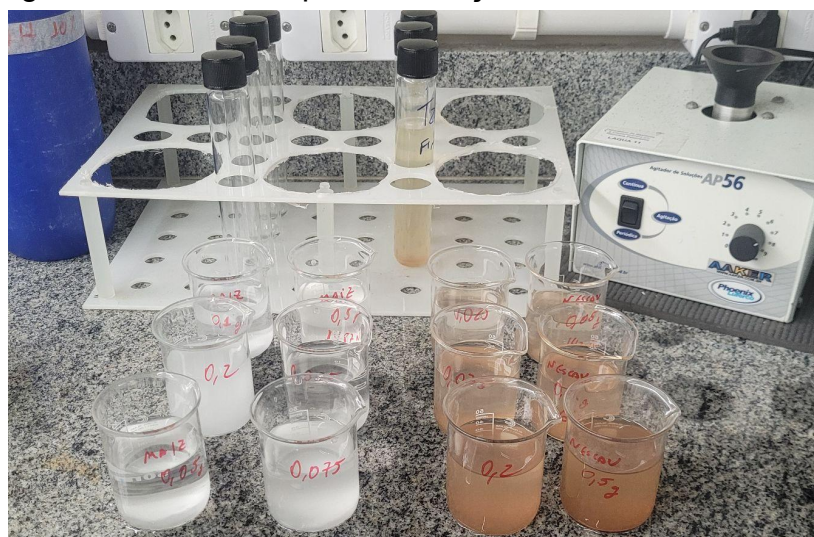
Assim, em 50 ml de água foram dissolvidas diferentes concentrações de amido de milho e achocolatado entre 25 mg e 500 mg, como mostra a Tabela 7.

Tabela 7 - Concentrações de amido de milho e achocolatado e turbidez medida

Concentração de amido (g)	Turbidez (NTU)	Concentração de achocolatado (g)	Turbidez (NTU)
0,025	183	0,025	87
0,05	481	0,05	150
0,075	525	0,075	210
0,1	710	0,1	282
0,2	1230	0,2	586
0,5	1487	0,5	1136

Fonte: Autor

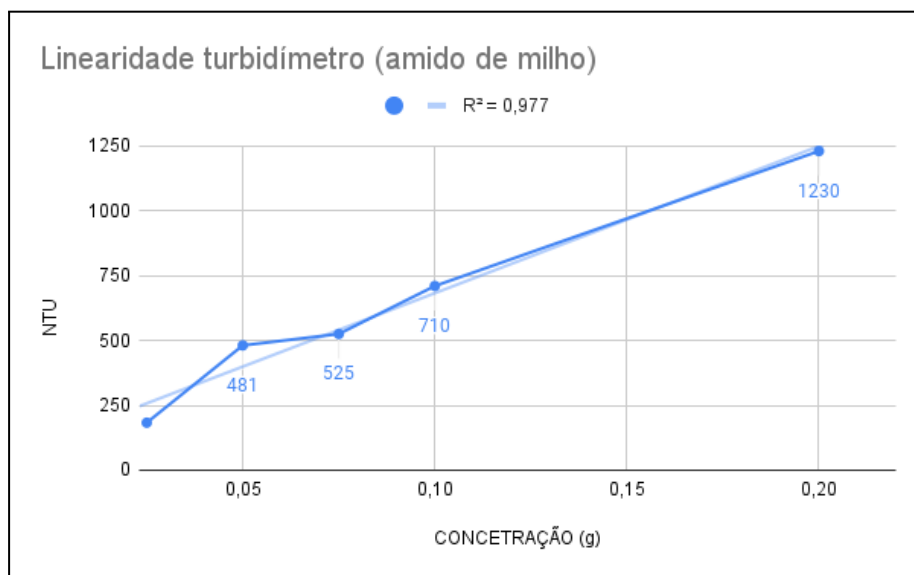
Figura 22 - Amostras para calibração do sensor de turbidez



Fonte: Autor

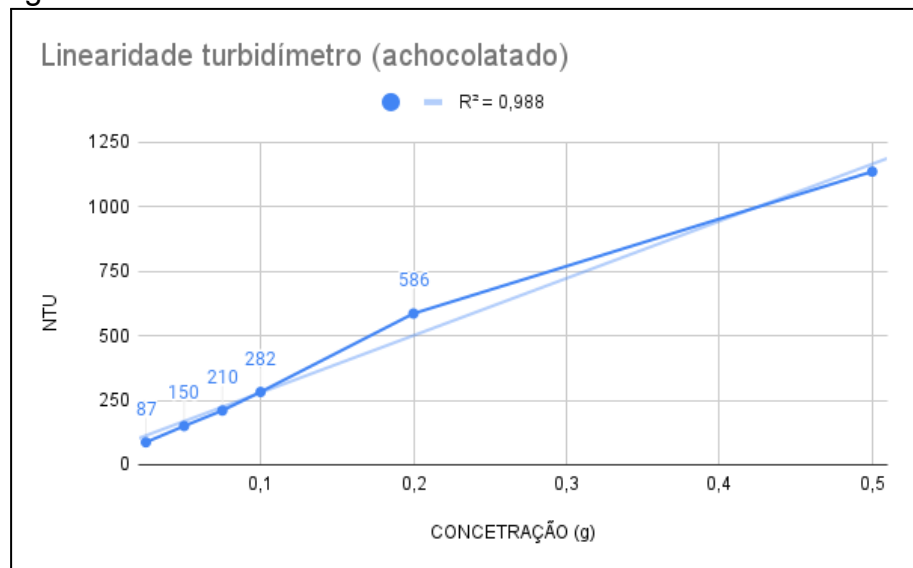
Nas Figuras 22 e 23, mostra-se a medida de turbidez do sensor de referência em relação a quantidade de substância presente na amostra. O amido de milho aumenta a turbidez da água com menor quantidade, por exemplo: com 25 mg de amido de milho o turbidímetro fez uma leitura de 183 NTU, mas a mesma quantidade de achocolatado mediu-se 87 NTU. É possível que isso seja a capacidade do material se dissolver na água, no entanto não está no escopo de estudo deste trabalho. Ainda assim, foi possível verificar a linearidade da turbidez, semelhante ao trabalho de Azman, Rahiman, Taib, Sidek, Bakar e Ali (2016) que observou uma curva linear ao preparar amostras com argila.

Figura 23 - Curva do turbidímetro de referência com amido de milho



Fonte: Autor

Figura 24 - Curva do turbidímetro de referência com achocolatado

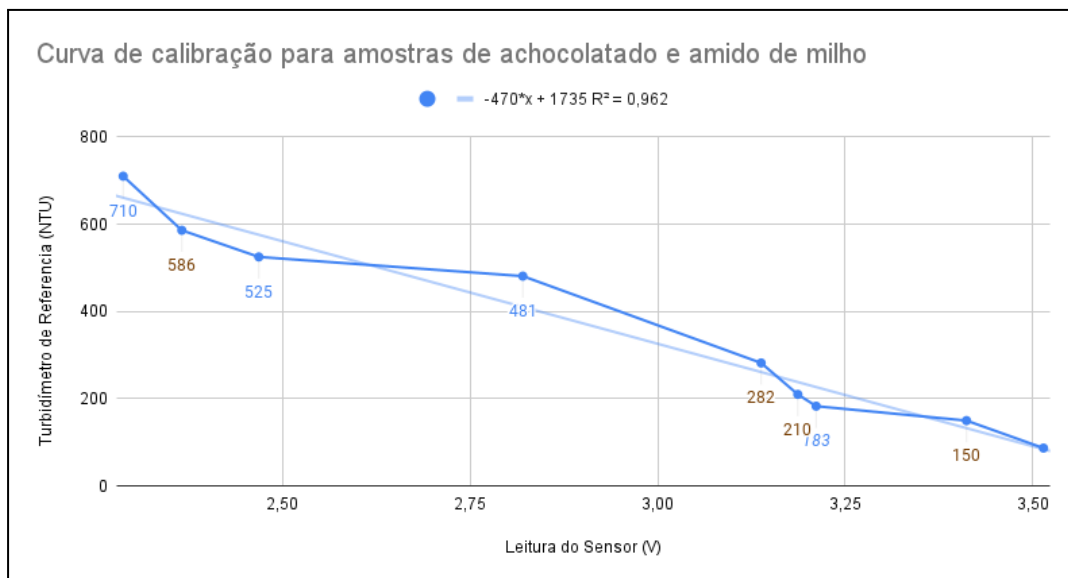


Fonte: Autor

A faixa de medição do turbidímetro TB-1000P é de 0 até 1000 NTU, acima de 500 mg de achocolatado e 200 mg de amido de milho nas amostras o valor medido ultrapassa a faixa de medição, apesar disso esses pontos foram considerados para analisar a linearidade pois demonstram proximidade com a curva linear traçada para o turbidímetro, exceto pela amostra de 500mg de maizena apresentou 1487 NTU e já não é mostrada no gráfico da Figura 22.

Ao mesmo tempo foram realizadas as medidas com o sensor de turbidez, vale ressaltar que para cada medição do turbidímetro e do sensor a amostra era agitada, para mitigar o efeito da decantação, e no caso do sensor foi feita uma média de cinco medições para cada amostra. A ficha técnica do sensor não fornece uma curva que faça a relação entre as medidas de tensão e turbidez, e também não há bibliotecas para Arduino que permitam saber qual a turbidez o sensor está medindo, dessa forma a curva de calibração foi obtida através das medidas do turbidímetro de referência (NTU) e as medidas de tensão realizadas pelo sensor, por regressão linear. A Figura 24 mostra a curva de calibração obtida.

Figura 25 - Curva 1 de calibração do sensor de turbidez



Fonte: Autor

A curva não considera as amostras com turbidez maior que 1000 NTU por ultrapassar a faixa de medição do turbidímetro de referência. No entanto, ao observar as curvas de linearidade do turbidímetro das Figuras 22 e 23, sabe-se que as amostras até 1230 NTU estão próximas da reta, por isso considerou-se usar a curva com amostras de maior turbidez. Mas ao analisar o erro de cada medição para a curva que considera amostra até 710 NTU bem como para a curva que considera amostras até 1230 NTU, percebe-se um erro considerável para amostra de baixa turbidez na segunda opção, como mostra a Tabela 7.

A curva 1 refere-se a curva da Figura 24 ($y = -471 * x + 1735$), e a curva 2 é a equação quando se considera amostras até 1230 NTU para a calibração ($y = -532 * x + 1928$) que não será usada devido ao erro para amostras com NTU baixo.

Tabela 8 - Comparação entre curvas de calibração do sensor de turbidez

Concentração (mg)	Turbidímetro (NTU)	Sensor (V)	Curva 1 (NTU)	Erro Curva 1(%)	Curva 2 (NTU)	Erro Curva 2(%)
25	87	3,51	83,34	4,39%	58,46	42,56%
50	150	3,41	131,58	14,00%	113,06	16,38%
70	183	3,21	225,76	18,94%	219,67	2,77%
100	210	3,19	237,25	11,49%	232,67	1,97%
25	282	3,14	260,22	8,37%	258,67	0,60%
50	481	2,82	409,54	17,45%	427,69	4,24%
75	525	2,47	574,93	8,68%	614,90	6,50%
100	586	2,37	623,17	5,96%	669,51	6,92%
200	710	2,29	659,93	7,59%	711,11	7,20%
500	1136	1,60	983,83	15,47%	1077,74	8,71%
200	1230	1,34	1103,28	11,49%	1212,95	9,04%
Amostras de amido de milho					Amostras de achocolatado	

Fonte: Autor.

A curva 2 foi desconsiderada devido o erro de mais de 42% para a amostra de 87 NTU, embora a curva 1 mostre um erro maior para a maioria das amostras, a distribuição do erro é mais uniforme e a aplicação do módulo de medições não requer exatidão nas amostra de turbidez, visto que a turbidez é um indicativo da condição da água. Além disso, o módulo inicialmente foi desenvolvido para ser usado como complemento a uma armadilha luminosa para larvas de peixes. Portanto, mesmo que as medidas de turbidez não sejam mais exatas, será possível estimar a influência da turbidez da água. Isso foi observado durante o manuseio das amostras durante a calibração e pode ser observado na Figura 14, que as amostras são visualmente parecidas. Dessa forma o sensor poderá indicar se a condição da água influenciou na coleta de larvas ou não teve interferência.

3.5 Montagem do protótipo

O processo para montar uma cápsula estanque, que fosse capaz de fixar os componentes e a bateria e ainda ser submerso, foi inspirado no trabalho de Card (2014), que ao construir um módulo semelhante usou uma estrutura cilíndrica de

plástico.

3.5.1 Teste de estanqueidade da parte inferior

O primeiro teste de estanqueidade foi feito para parte inferior, onde ficam os 3 sensores, visando preservar os componentes em caso de falha do teste, foi fabricado outra peça 3D que fixou 2 parafusos e 2 eletrodos, simulando os sensores, Figura 25. Na parte superior foi vedado um tampão de pvc com anel de borracha. Como o objetivo do experimento era testar a estanqueidade da parte inferior do módulo, utilizou-se uma seção menor do cano de pvc para facilitar o manuseio.

Então foi aplicado 75 g da resina epóxi, sendo 50 g do Epoxi SQ 2220 e 25 g do endurecedor SQ 3154. O teste de submersão foi realizado após 48 h de cura da resina, nos tanques do IFSC Itajaí, utilizando um peso fixado a um dos parafusos do protótipo.

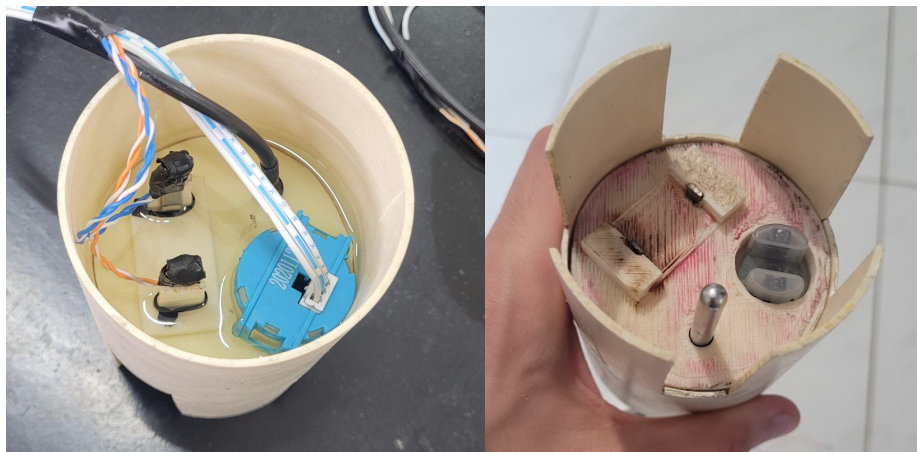
Figura 26 - Protótipo para teste de vedação



Fonte: Autor

Após 48 h de submersão, o protótipo foi retirado e verificou-se suficiente a vedação com resina epóxi, uma vez que não havia sinal indicando infiltração de água. Sendo assim, a aplicação de resina foi feita na peça com os sensores fixados.

Figura 27 - Resina aplicada para vedação na parte interna

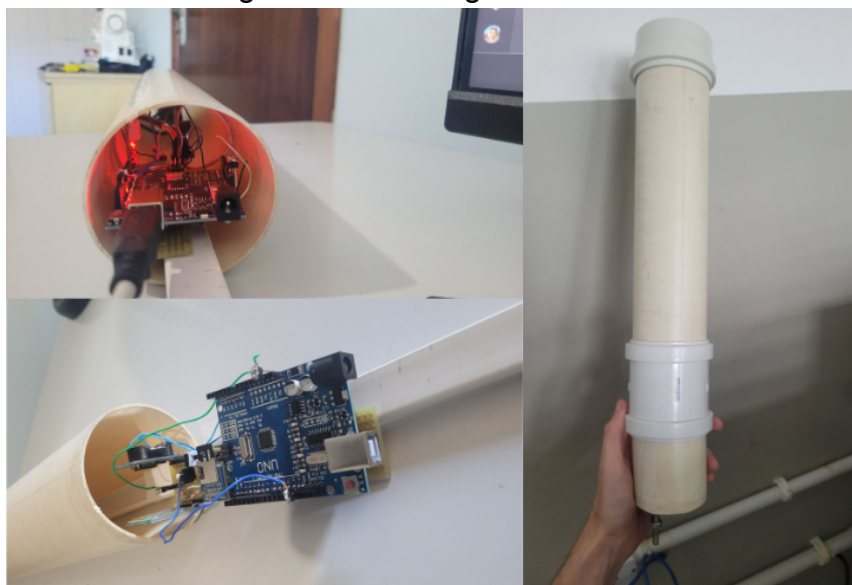


Fonte: Autor

3.5.2 Montagem módulo

Por fim o módulo será finalizado unindo o compartimento dos sensores com o compartimento que ficará a bateria e a placa com os demais componentes através de um conexão de PVC com anéis de vedação, como mostrado na Figura 27.

Figura 28 - Montagem do módulo



Fonte: Autor

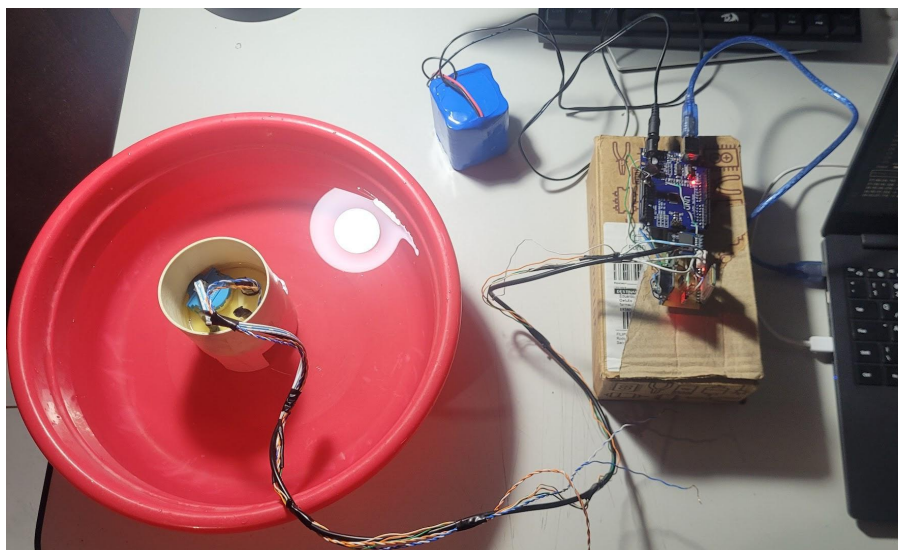
4 RESULTADOS

4.1 Teste do sensor de temperatura e de turbidez

A intenção de realizar os testes em ambientes controlados é verificar o resultado da calibração de cada um dos sensores, bem como o seu funcionamento quando fixados à peça 3D, e ao mesmo tempo observar o funcionamento dos componentes da placa, como módulo RTC, *Bluetooth* e cartão SD.

O teste inicial foi voltado para o sensor de temperatura e turbidez, diferente do sensor de salinidade que foi desenvolvido, este foi analisado à parte. A Figura 28 mostra a disposição dos componentes durante o teste.

Figura 29 - Configuração para ambiente controlado



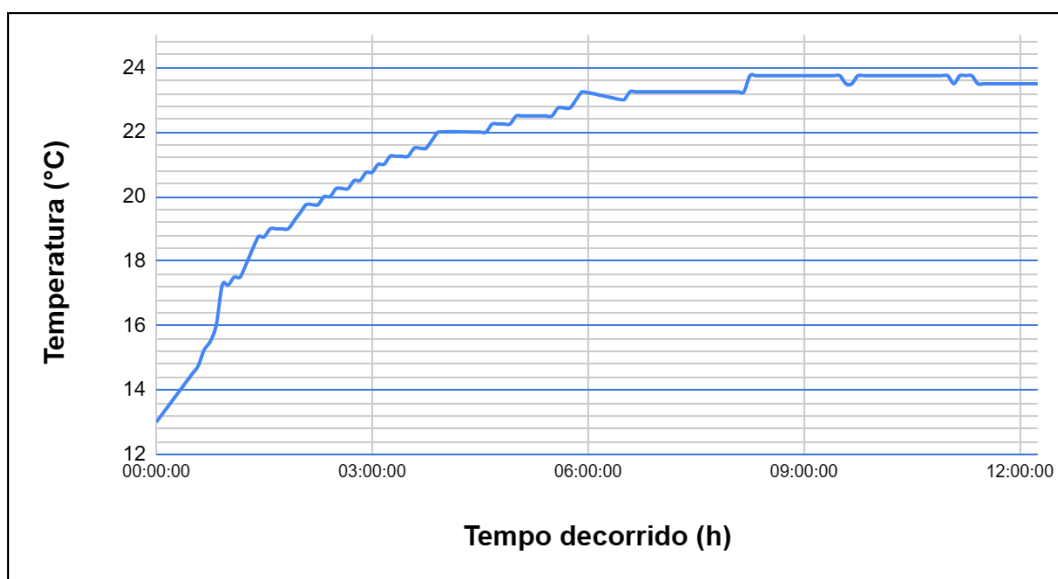
Fonte: Autor

Esse teste consiste em variar a temperatura e turbidez da água na qual o módulo está inserido para observar o comportamento do sensor, controlando as variáveis medidas. Para isso, durante o período de 12 h foram planejados cinco eventos que permitissem a alteração das grandezas medidas.

O sensor de temperatura se mostrou bastante confiável durante o processo de calibração, de forma que no decorrer do teste somente foi observado a variação de temperatura medida pelo sensor, para isso iniciou-se o teste com água potável refrigerada a 13°C, e como a temperatura ambiente durante o teste era de 25°C espera-se que a temperatura de água estabilize próximo dessa temperatura.

O sensor funcionou como o esperado, realizando medições a cada 5 min, a Figura 29 mostra um aumento de temperatura mais acentuado nas primeiras horas do teste, mas à medida que se aproxima da temperatura ambiente a inclinação da curva tende a diminuir, pois é onde a temperatura está estabilizando com a temperatura ambiente.

Figura 30 - Resultado das medidas de temperatura em ambiente controlado



Fonte: Autor

Com o mesmo teste também foi observado o funcionamento do turbidímetro, assumindo que a temperatura da água não terá influência nas medidas de turbidez. Como a linearidade da resposta à turbidez foi constatada durante o processo de calibração, de forma que a quantidade de achocolatado ou amido de milho misturado na água é diretamente proporcional a turbidez da amostra, é possível estimar a turbidez para qualquer quantidade de água e substância misturada. Durante o teste foi utilizado uma amostra de 3 litros, a Tabela 9 mostra o planejamento do teste, em cada evento era observado as medidas e/ou adicionado achocolatado para influenciar a turbidez. Os valores de turbidez almejados na amostra para o teste são as mesmas das amostras usadas na calibração, dessa forma sabe-se a quantidade de achocolatado que deve ser misturado na amostra.

Ao mesmo tempo, sabe-se que as medidas devem estar dentro de uma faixa de medição esperada, segundo a Tabela 7 a curva apresenta um erro percentual

para cada faixa de medição. Outro fator importante para se considerar durante a análise dos dados é o efeito da decantação, a partir do momento que o achocolatado é misturado na água, ele começa a decantar, e as partículas se acumulam no fundo do recipiente assim espera-se que as medições de turbidez diminuam até que a amostra seja agitada novamente

Vale ressaltar que durante a realização do planejamento alguns eventos não aconteceram precisamente no mesmo momento como é mostrado na Tabela 9, pois é apenas um guia para executar o teste, podendo haver diferença de até 20 min do evento planejado para o executado.

Tabela 9 - Planejamento para teste em ambiente controlado

Evento		Temperatura (°C)	Turbidez		
Identificação	Tempo decorrido		Achocolatado adicionado (g)	Turbidez esperada (NTU)	Varição Esperada
1	00:00	13	-	0	-
2	01:00	-	3.00	150	14% = 21 NTU
3	04:00	-	3.00	282	8,37% = 23,6 NTU
4	06:00	-	6.00	586	8,68% = 50,86 NTU
5	08:00	-	18.00	1136	11,49% = 130,52 NTU
6	09:00	-	-	-	-
7	12:00	-	-	-	-

Fonte: Autor

As medições eram realizadas a cada 5 min conforme a operação normal planejada para o módulo. No entanto, a cada evento foram realizadas várias medidas seguidas para observar o comportamento do sensor de turbidez, diminuindo o passo da medição a cada 20 segundos, assim obteve-se os dados para produzir o gráfico da Figura 30. Deve-se observar o tempo decorrido no gráfico onde mostra medições recorrentes após um evento, e em seguida volta a mostrar medições espaçadas.

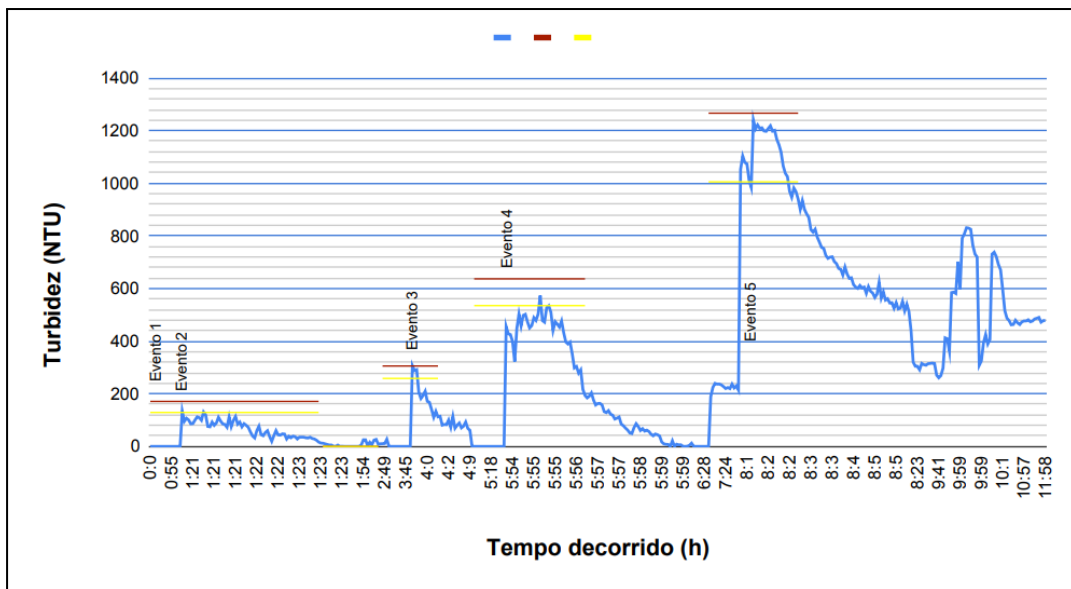
O sensor de turbidez funcionou como esperado, uma vez que faz as leituras de turbidez em cada evento, além de mostrar o efeito da decantação. As linhas horizontais (em amarelo e vermelho) mostram a faixa de erro aceitável do sensor, conforme estimado durante a calibração, e são válidas para o momento do evento,

uma vez que durante a decantação a turbidez já foi alterada. Por exemplo, no caso de uma amostra de 150 NTU é esperado que as medições variem em torno de 14% pois este é um erro estimado durante a calibração do sensor, conforme a Tabela 7.

As medições feitas no evento n.º 4 foi onde o sensor se mostrou mais distante da faixa de medição esperada, isso pode acontecer se a quantidade total de achocolatado não foi totalmente misturado na água, mas se considerarmos que a amostra estava devidamente misturada, então o sensor não realizou uma medida correta. Ainda assim produziu um indicativo de turbidez para aplicação do projeto, onde não é necessário a exatidão da turbidez, mas sim medidas que tragam uma estimativa da condição da água.

Após o evento n.º 5, a turbidez decaiu conforme o esperado devido a decantação, mas após aproximadamente 2 horas o sensor realizou medidas maiores que durante o processo de decantação, devido a duração do teste de 12 horas não foi possível acompanhar se houve alguma interferência na amostra, dessa forma existe a possibilidade de o sensor ter feito medidas incorretas, mas considerando o histórico das horas anteriores do teste espera-se que seja algum outro efeito que tenha causa uma medição mais alta de turbidez do que esperado, como a movimentação da água por algum efeito externo não identificado ou ainda a não decantação total da amostra visto que no último evento já havia sido adicionado 30 gramas de achocolatado. Durante o teste foi garantido que a luz se manteve a mesma durante o todo o decorrer do experimento.

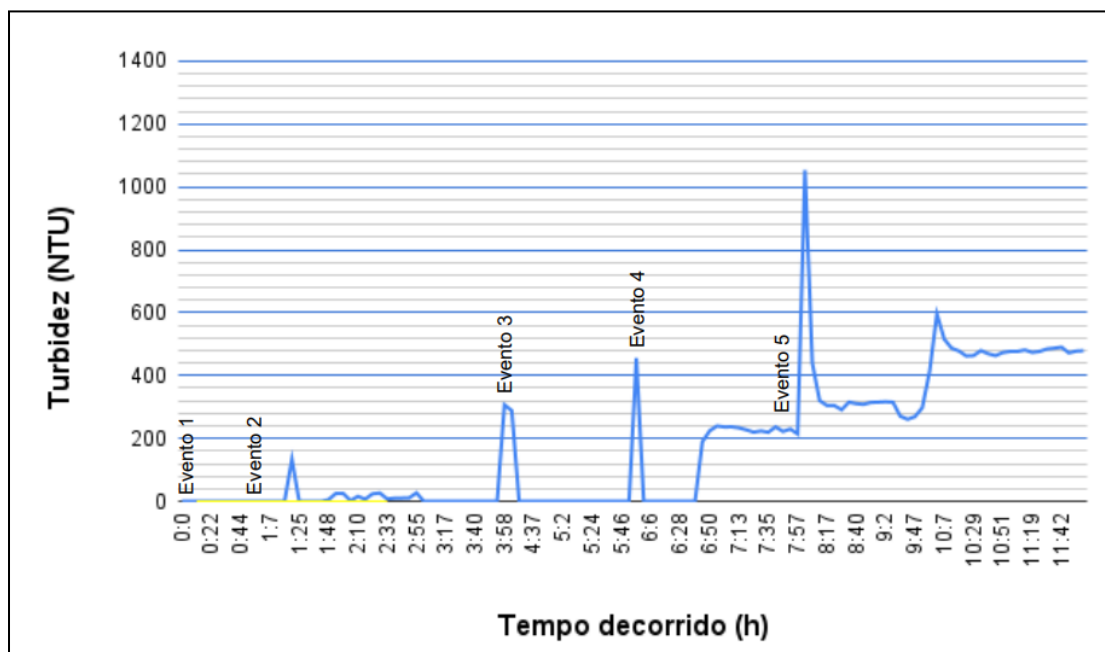
Figura 31 - Medidas de turbidez em teste de ambiente controlado



Fonte: Autor

A figura 31 mostra as medições em ambiente controlado, sem as medições recorrentes a cada 20 segundos nos eventos, dessa forma não é possível observar a decantação.

Figura 32 - Medidas de turbidez em teste de ambiente controlado sem efeito da decantação



Fonte: Autor

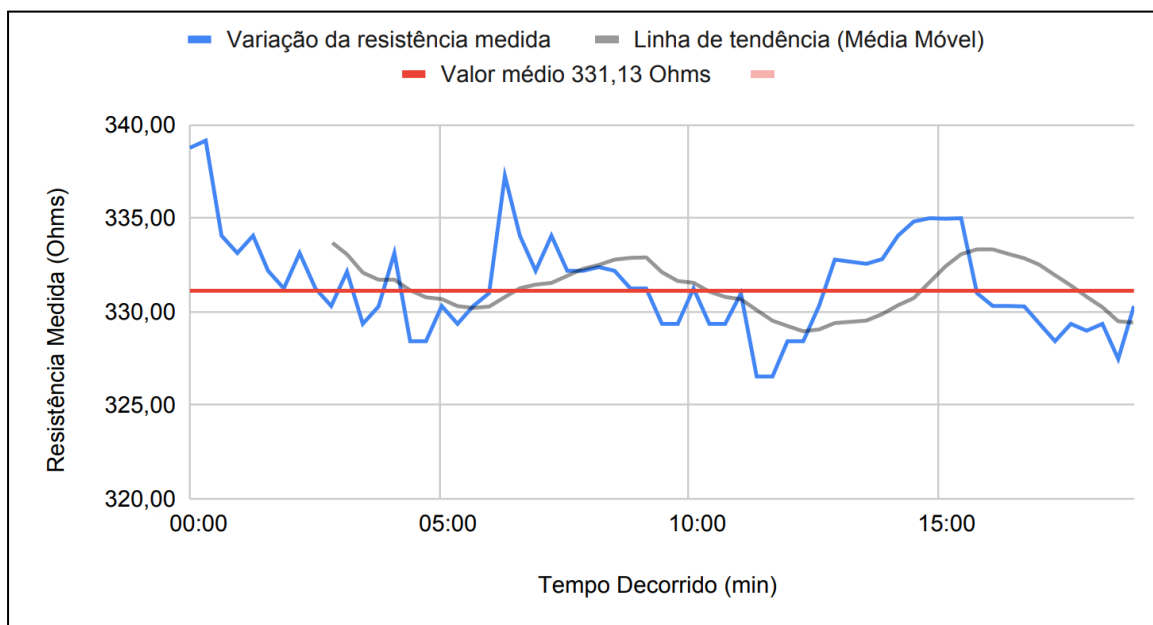
4.2 Teste do sensor de salinidade

O sensor de salinidade não participou do teste de 12 horas pois em medições preliminares apresentou medições incorretas, a saber, em uma amostra de 35 ppt as medições realizadas variavam em torno de 36 e 45 ppt, dessa forma, foi investigado de forma separada.

Ao preparar uma amostra de 35 ppt o sensor foi submetido às medições, realizando-as em sequência durante 20 min, para que houvesse dados o suficiente para analisar o comportamento do sensor, respeitando o intervalo de 15 s conforme determinado durante a calibração. O sensor apresentou resultados parecidos com as medições observados no teste preliminar de 35 ppt, de forma que, as medições de salinidade variaram entre 39,75 e 44,8 ppt, com uma média de 42,92 ppt, desvio padrão de 1,07 e um coeficiente de variação de 2,48%.

Em termos de resistência elétrica, que é a grandeza primária medida pelo sensor, espera-se medições próximas de 345 Ω , analisando os valores medidos foi encontrado uma média de 331,13 Ohms. A Figura 32 mostra as medições no tempo, percebe-se que a variação acontece em torno do valor médio.

Figura 33 - Variação da resistência durante teste do sensor de salinidade



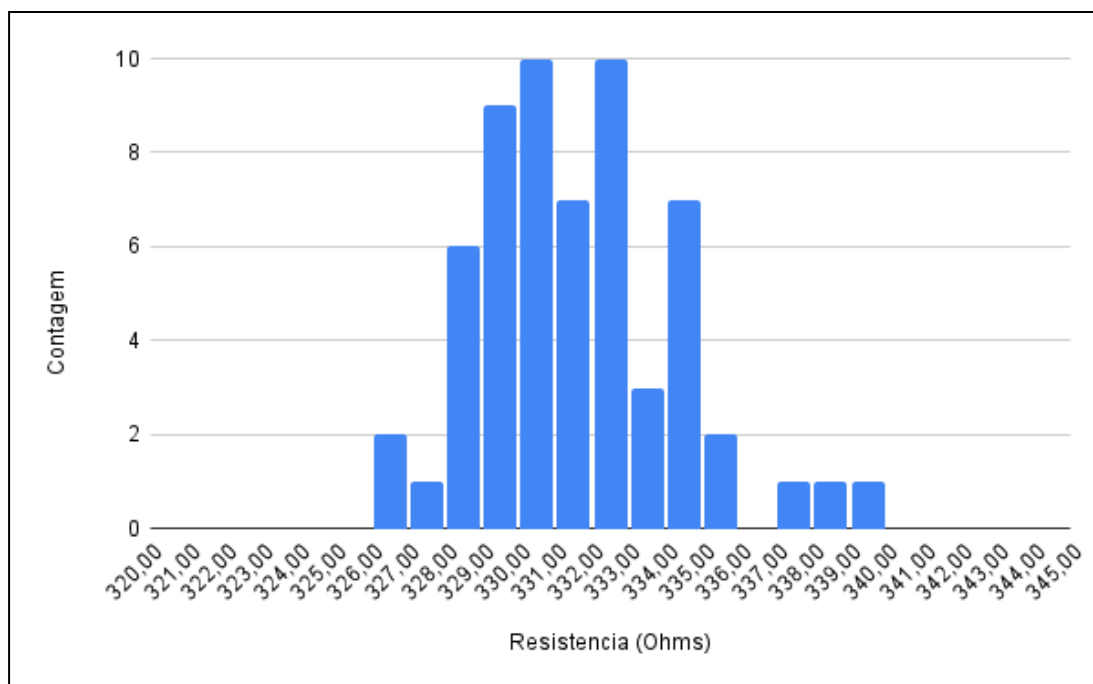
Fonte: Autor

Para mitigar o efeito das variações pode ser implementada a média móvel. A curva em cinza mostra uma linha de tendência para uma média móvel de dez medições, se mostrando eficaz para diminuir os efeitos das oscilações.

Através da curva da média móvel traçada é possível notar uma oscilação de baixa frequência entre as medidas, pois ao considerar um período de aproximadamente 8 min (480 s), a frequência da curva é 0,002 Hz.

Ao analisar os dados em um histograma, Figura 33, é possível perceber que os dados tendem para uma distribuição bimodal, quando há mais de uma moda (CLARK, 2012. p. 8), por apresenta dois picos, ou seja dois valores com maior frequência, entre 330 - 331 Ω e entre 332 - 333 Ω . Este histograma contém 60 amostras e apresenta um desvio padrão de 2,66 e um coeficiente de variação de 0,80%, testes mais longos podem trazer melhor interpretação sobre o sensor.

Figura 34 - Histograma das medições de salinidade



Fonte: Autor

A Figura 34 mostra quantos Ohms uma medida variou em relação à medida anterior ao longo do tempo, considerando os valores absolutos de cada variação, foi encontrado uma variação média de 0,94 Ω . Sendo assim, a resolução equivalente

pode ser calculada como:

$$\frac{0,94 \Omega}{0,92 \Omega/bit} = 2^{N-1}$$

Então:

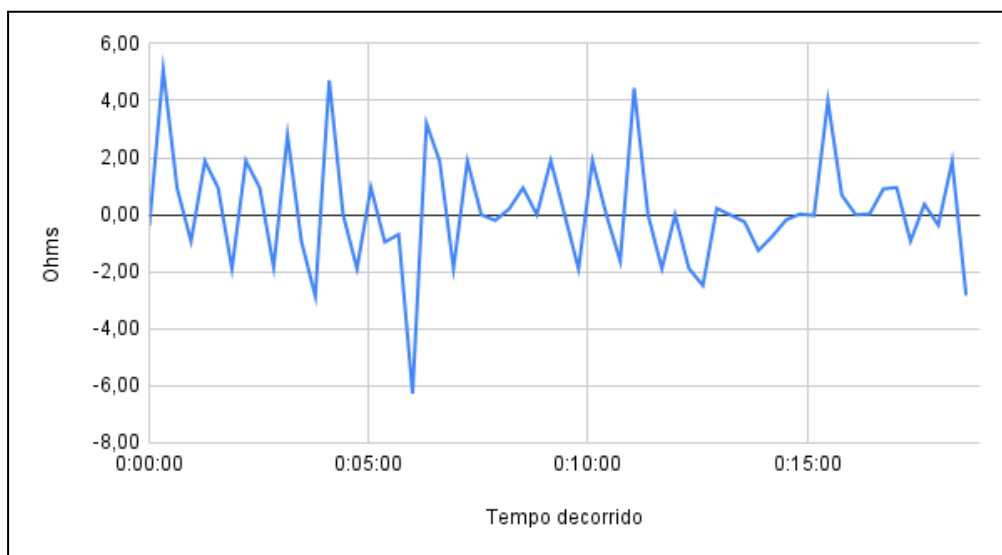
$$N = 1,03 \text{ bits}$$

Ou seja:

$$Res. = 10 \text{ bits} - 1,03 \text{ bits} = 8,97 \text{ bits}$$

Isso resultaria em uma resolução de 8,97 mV/bits, e ao considerar a corrente de 5,3 mA, a resolução efetiva em Ohms do sensor será 1,88 Ω /bit.

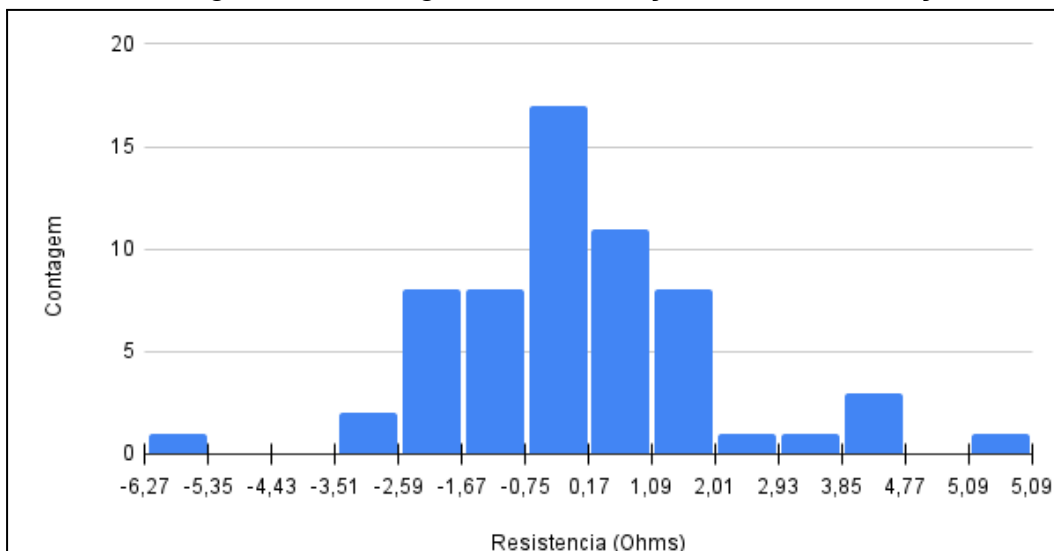
Figura 35 -Variação em ohms entre cada medição



Fonte: Autor

Por outro lado, ao observar o histograma referente às variações entre cada medição que apresenta um desvio padrão de 1,97 Ω , Figura 35, é notável uma distribuição gaussiana.

Figura 36 - Histograma das variações entre as medições



Fonte: Autor

Embora o sensor não tenha realizado medições conforme esperado sabe-se da confiabilidade do sistema eletrônico desenvolvido, uma vez que é eficiente para medir resistências elétricas, pois ao realizar teste com resistores discretos, foi comparada a medição realizada pelo protótipo com as medidas feitas por um multímetro de bancada Tektronix DMM4050¹⁶. A Tabela 10 mostra que o erro de medição varia entre 3,20% e 2,51% os quais são plausíveis de serem corrigidos através de ajustes, ou seja, a eletrônica utilizada é capaz de medir resistência corretamente para a aplicação, dessa forma as medições indevidas do sensor de salinidade se deve a aspectos construtivos.

¹⁶ Datasheet: <https://www.tek.com/en/datasheet/dmm4050-4040-digital-multimeter>

Tabela 10 - Medição de resistores

Resistência medida com multímetro (Ω)	Resistência medida com o protótipo (Ω)	Erro relativo(%)
97,87	94,74	3,20
130,06	125,75	3,31
179,68	174,1	3,10
199,03	192,74	3,16
235,00	227,78	3,07
299,51	290,55	2,99
329,34	320	2,83
364,84	354,93	2,72
388,27	377,8	2,70
416,03	404,8	2,70
429,96	418,62	2,64
506,40	493,3	2,59
628,84	612,33	2,63
664,96	648,3	2,51

Fonte: Autor

Durante a calibração do sensor, ainda não havia sido aplicado a resina para fixação da peça no cano de PVC, havendo a liberdade de movimentar os eletrodos, dessa forma existe a possibilidade que durante o manuseio da peça 3D e até mesmo durante a aplicação da resina uma mudança de posicionamento dos sensores ocasionou na desconfiguração do sensor. Uma vez que a resistência medida depende das dimensões do sensor.

A fim de entender como uma mudança no posicionamento dos eletrodos podem influenciar nas medidas, a Tabela 11 mostra como uma pequena mudança afeta o fator L/A e conseqüentemente afeta a medição de resistência, considerando a equação 2.

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (2)$$

Para dois casos em que a condutividade é constante 30 e 40 mS/cm e a distância entre os eletrodos também é constante, uma mudança de 0,1 cm na altura da seção exposta do eletrodo resultaria em uma diferença de até 83 Ω .

Tabela 11 - Influência do fator L/A

Distância (cm)	Área			Fator L/A Resultante	Condutividade da amostra (mS/cm)	Resistência Medida (Ohms)
	Largura (cm)	Altura(cm)	Área (cm ²)			
2,5	0,5	0,6	0,3	8,33	40	208,33
2,5	0,5	0,5	0,25	10,00	40	250,00
2,5	0,5	0,4	0,2	12,50	40	312,50
2,5	0,5	0,6	0,3	8,33	30	277,78
2,5	0,5	0,5	0,25	10,00	30	333,33
2,5	0,5	0,4	0,2	12,50	30	416,67

Fonte: Autor

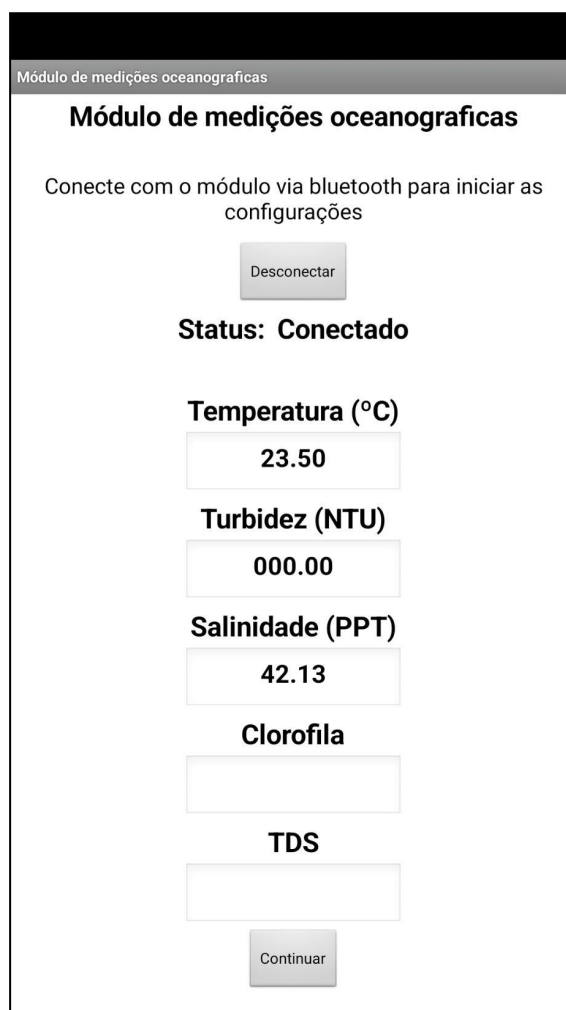
Em termos de salinidade, se considerarmos uma fator L/A de 10 no cálculo da condutividade, uma medição de 333 Ω resultaria em uma condutividade calculada de 30 mS/cm, como mostra a tabela, mas em uma situação hipotética uma medição de 416 Ω considerando o mesmo fator L/A de 10, a condutividade calculada seria 23,51 mS/cm. Em salinidade isso reflete em 52,2 ppt (30 mS/cm) e 20,53 ppt (23,51 mS/cm), considerando a curva de 20-22,99°C da calibração.

Embora o sensor não tenha realizado medições tão discrepantes, os valores de medição não foram considerados exatos. Assim, para o sensor de salinidade será necessário uma nova calibração, para que possa ser corrigido os efeitos dos aspectos construtivos.

4.3 Comportamento dos demais componentes

Também foi analisado o funcionamento dos demais componentes do módulo, todos funcionaram de maneira adequada e conforme o esperado. O módulo RTC foi capaz manter as informações de data e hora corretamente, dessa forma esses dados eram armazenados no cartão SD juntamente com as medições realizadas por cada um dos sensores, por fim os dados são salvos em um arquivo tipo .csv, que pode ser acessado por um aplicativo de planilhas. A funcionalidade *Bluetooth* funcionou de maneira esperada, onde as informações eram apresentadas em um aplicativo Android (desenvolvido fora do escopo deste trabalho, durante PI 3) e após 15 min o funcionamento era interrompido.

Figura 37 - Aplicativo Android



The screenshot shows an Android application interface titled "Módulo de medições oceanográficas". The interface is designed for connecting to an oceanographic module via Bluetooth. It features a "Desconectar" button at the top, followed by the status "Status: Conectado". Below this, several measurement parameters are displayed in a list: "Temperatura (°C)" with a value of 23.50, "Turbidez (NTU)" with a value of 000.00, "Salinidade (PPT)" with a value of 42.13, "Clorofila" (Chlorophyll) with an empty input field, and "TDS" (Total Dissolved Solids) with another empty input field. At the bottom, there is a "Continuar" button.

Parâmetro	Valor
Temperatura (°C)	23.50
Turbidez (NTU)	000.00
Salinidade (PPT)	42.13
Clorofila	
TDS	

Fonte: Autor

5 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi realizado uma análise de aplicabilidade e calibração de um módulo medições oceanográficas, que se propõe a fazer medidas de temperatura, turbidez e salinidade da água do mar. Para isso, o módulo faz uso do Arduino para gerenciar os sensores, e também os demais componentes que permitem a coleta e armazenamento dos dados. Com o Arduino também foi possível implementar mecanismos para reduzir o consumo de energia e garantir maior autonomia no módulo, além diminuir a capacidade necessária de bateria para a operação.

O processo de calibração dos sensores permitiu verificar seu funcionamento e sua capacidade de realizar medidas confiáveis. Através de diferentes métodos de calibração foi possível estimar aproximações lineares entre as referências de calibração e as medidas realizadas pelos sensores, com coeficiente de correlação próximo a um, de forma que pode-se esperar que os sensores irão realizar medidas coerentes quando o módulo estiver operando.

O sensor DS18B20 se mostrou preciso e consistente nas medições de temperatura, tanto na calibração quanto nos testes realizados. Da mesma forma, o sensor de turbidez, que se mostrou capaz de identificar alteração na turbidez da água. E assim, é sensível o suficiente para realizar medições em amostras da mesma forma que o turbidímetro de referência. Apesar disso, sabe-se que quanto exposto diretamente a fontes de luz, pode realizar medidas incorretas, por esta razão, seria conveniente em trabalhos futuros explorar alternativas que protejam o sensor de tais interferências, para que a usabilidade do módulo não fique restringida ao seu posicionamento. Também foram observados erros na curva de calibração da turbidez quando comparada com o turbidímetro, de forma que refazer a calibração com mais amostras pode melhorar a calibração e diminuir o erro esperado nas medições.

No sensor de salinidade, por outro lado, observou-se que o desempenho do sensor não atendeu às expectativas estabelecidas, pois pequenas alterações nos aspectos construtivos trazem implicações nas medidas de condutividade. Ainda assim, através de análises estatísticas realizadas, conclui-se que o sensor é capaz de realizar medições precisas, no entanto, ainda não são exatas, por isso, se faz

necessário uma nova calibração do sensor de salinidade. A recalibração do sensor será objeto de investigações futuras, possibilitando uma abordagem mais aprofundada. Buscando garantir a qualidade das medidas e a confiabilidade no módulo como um todo.

Outras possibilidades podem ser estudadas em trabalhos futuros em relação ao sensor de salinidade, como foi analisado as dimensões influenciam nas medições, dessa forma explorar possibilidades dos aspectos construtivos do sensor, pode trazer diferentes resultados. Além disso, o uso de uma fonte de corrente contínua, pode trazer dano aos eletrodos do sensor devido a eletrólise, por isso investigar a possibilidade de implementação de uma fonte de corrente alternada pode ser útil. E assim, investigar também como aumentar a sensibilidade do sensor de condutividade.

Visando aumentar a precisão das exatidão de todos os sensores, cabe em trabalhos futuros também enumerar as fontes de erro que podem contribuir para a incerteza das medições, para que essas possam ser minimizadas.

Foi possível otimizar o consumo do módulo e garantir maior autonomia, fazendo o desligamento de alguns componentes, mas a fonte de corrente ainda pode ter menor impacto no consumo se o posicionamento do chaveamento for rearranjado e impedir a passagem de corrente para todos os componentes do circuito.

Dessa forma, módulo de medições multiparâmetros se mostrou funcional para o objetivo ao qual é proposto, por ser capaz de realizar as medições de temperatura, turbidez e salinidade. Portanto, é aplicável para ser utilizado em paralelo a armadilha luminosa para coleta de larvas de peixe.

6 REFERÊNCIAS

1. A BROADBENT, Heather; IVANOV, Stanislav Z; FRIES, David P. A miniature, low cost CTD system for coastal salinity measurements. **Measurement Science And Technology**, [S.L.], v. 18, n. 11, p. 3295-3302, 20 set. 2007. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/0957-0233/18/11/005>
2. ALBERTAZZI, Armando; SOUSA, André Roberto de. **Fundamentos de metrologia científica e industrial**. Editora Manole, 2017. E-book. ISBN 9788520454879. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788520454879/>. Acesso em: 11 nov. 2023.
3. ALEX CARD. Fondriest Environmental. **Conductivity, Salinity & Total Dissolved Solids**. 2014. Disponível em: <https://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/water-quality/conductivity-salinity-tds/>. Acesso em: 02 ago. 2023.
4. ALEXANDRE, Charles K.; SADIKU, Matthew N. O. **Fundamentos de Circuitos Elétricos**. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.
5. ALVES, Ester Helena et al. ELABORAÇÃO DA CURVA DE CALIBRAÇÃO UTILIZANDO ÁCIDO TÂNICO COMERCIAL PARA DETERMINAÇÃO DE ATIVIDADE ENZIMÁTICA DE TANASE. **Sinergia**, São Paulo, v. 21, n. 1, p. 34-38, jan. 2020.
6. ARDUINO Reference: micros(). Disponível em: <https://www.arduino.cc/reference/en/language/functions/time/micros/>. Acesso em: 08 ago. 2023.
7. ASHOKAN, Rajeev R.; THOMAS, K. A.; NATARAJAN, V.. Design, fabrication and evaluation of zero external field conductivity cell for CTD sensor. **2009 International Symposium On Ocean Electronics (Sympol 2009)**, [S.L.], p. 128-132, nov. 2009. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/sympol.2009.5664175>.
8. AZMAN, Ahmad Aftas; RAHIMAN, Mohd Hezri Fazalul; TAIB, Mohd Nasir; SIDEK, Norbaya Hj; BAKAR, Ilyani Akmar Abu; ALI, Mohd Fozi. A low cost nephelometric turbidity sensor for continual domestic water quality monitoring systems. **2016 IEEE International Conference On Automatic Control And Intelligent Systems (I2Cacis)**, [S.L.], 22 out. 2016. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/i2cacis.2016.7885315>.
9. BALBINOT, Alexandre. **Instrumentação e Fundamentos de Medidas - Vol. 1**. Grupo GEN, 2019. E-book. ISBN 9788521635864. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521635864/>. Acesso em: 15 jun. 2023.
10. BARRON, John J.; ASHTON, Colin. The effect of temperature on conductivity measurement. **TSP**, v. 7, n. 3, p. 1-5, 2005.
11. CAMPAGNARO, Filippo; TOFFOLO, Nicola; POZZEBON, Alessandro; FRANCESCON, Roberto; BARAUSSE, Alberto; AIROLDI, Laura; ZORZI, Michele. A Network Infrastructure for Monitoring Coastal Environments and Study Climate Changes in Marine Systems. **Oceans 2022, Hampton Roads**, [S.L.], 17 out. 2022. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/oceans47191.2022.9977287>.

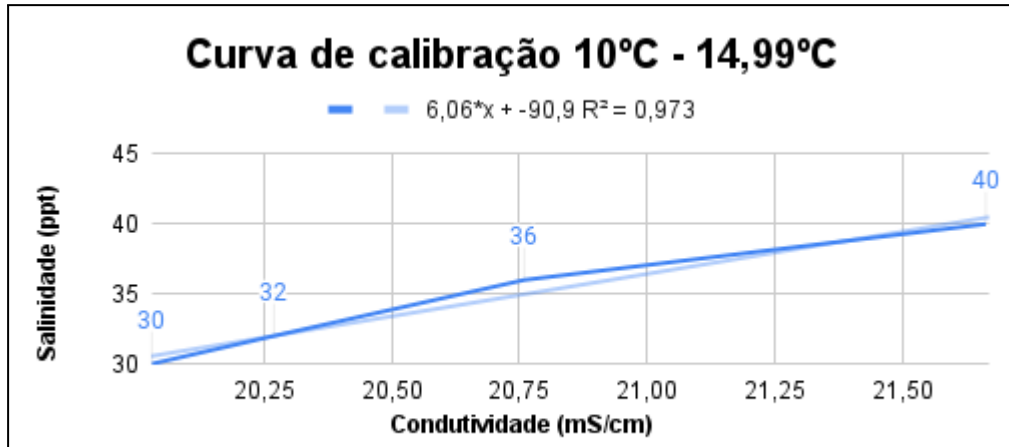
12. CARDOSO, Thaiany Guilherme. **SENSOR DE TURBIDEZ PARA ANÁLISE DE AMOSTRAS DE ÁGUA**. 2011. 64 f. Curso de Engenharia de Computação, Uniceub, Brasília, 2011.
13. CASTELLO, Jorge P.; KRUG, Luiz C.. **INTRODUÇÃO ÀS CIÊNCIAS DO MAR**. Pelotas: Editora Textos, 2015. 602 p.
14. CLARK, Jeffrey; DOWNING, Douglas. **Estatística Aplicada - Série Essencial, 3ª Edição**. Editora Saraiva, 2012. E-book. ISBN 9788502126817. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788502126817/>. Acesso em: 22 nov. 2023.
15. FRANCO, Sérgio. **Design with operational amplifiers and analog integrated circuits**. 4. ed. New York: Makron McGraw-Hill, 2015. 715 p., il. ISBN 978078028168.
16. INMETRO. **Vocabulário Internacional de Metrologia (VIM)**. 2012. Disponível em: http://www.inmetro.gov.br/inovacao/publicacoes/vim_2012.pdf
17. International Organization for Standardization. **ISO 7888: Water quality - Determination of electrical conductivity**. 1985
18. **Itajaí, entre o rio e o mar**. Disponível em: <https://itajai.sc.gov.br/c/a-cidade>. Acesso em: 17 jun. 2023.
19. JOSÉ BAGUR. **Powering Alternatives for Arduino Boards**. 2023. Arduino Docs. Disponível em: <https://docs.arduino.cc/learn/electronics/power-pins>. Acesso em: 23 jul. 2023.
20. KITCHENER, Ben Gb; WAINWRIGHT, John; PARSONS, Anthony J. A review of the principles of turbidity measurement. **Progress In Physical Geography: Earth and Environment**, [S.L.], v. 41, n. 5, p. 620-642, 23 ago. 2017. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/0309133317726540>.
21. LECAILLON, Gilles. Current status of marine post-larval collection: Existing tools, initial results, market opportunities and prospects. **Live Reef Fish Information Bulletin**, New Caledonia, v. 17, n. 0, p. 3-10, nov. 2007.
22. LINEAR Conversion of Conductivity to Salinity. Elaborado por: pHionics Water Quality Sensors. Disponível em: <https://www.phionics.com/2020/12/03/linear-conversion-conductivity-to-salinity/>. Acesso em: 20 jul. 2023.
23. MACHADO VALENTIM, M. **TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO RELAÇÃO DA SALINIDADE E TURBIDEZ NOS LIMITES DE UM ESTUÁRIO AMAZÔNICO**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: https://bdm.ufpa.br:8443/jspui/bitstream/prefix/986/3/TCC_RelacaoSalinidad eTurbidez.pdf. Acesso em: 1 maio. 2023.
24. MARCHIORO, Maria Ignez; BALDISSEROTTO, Bernardo. Sobrevivência de alevinos de jundiá (*Rhamdia quelen* Quoy & Gaimard, 1824) à variação de salinidade da água. **Ciência Rural**, v. 29, p. 315-318, 1999.
25. Maxim Integrated DS18B20 Datasheet . Disponível em: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ds18b20.pdf>. Acesso em: 15 de junho de 2023.
26. Maxim Integrated DS18B20 Datasheet . Disponível em: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ds18b20.pdf>. Acesso em: 15 de junho de 2023.
27. Ministério da Saúde. **Vigilância e Controle de Qualidade da Água para**

- Consumo Humano.** Brasília: Ministério da Saúde, 2011. 313p. Disponível em:
https://bvsmis.saude.gov.br/bvsmis/publicacoes/vigilancia_controle_qualidade_agua.pdf. Acesso em: 23 abr. 2023.
28. MÜNZBERG, Marvin; HASS, Roland; KHANH, Ninh Dinh Duc; REICH, Oliver. Limitations of turbidity process probes and formazine as their calibration standard. **Analytical And Bioanalytical Chemistry**, [S.L.], v. 409, n. 3, p. 719-728, 1 out. 2016. Springer Science and Business Media LLC.
<http://dx.doi.org/10.1007/s00216-016-9893-1>.
29. PANKAJ KHATRI. **Arduino Sleep Modes and How to use them to Save the Power.** Disponível em:
<https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/arduino-sleep-modes-and-how-to-use-them-to-reduce-power-consumption>. Acesso em: 10 ago. 2023.
30. PARRA, Lorena; VICIANO-TUDELA, Sandra; CARRASCO, David; SENDRA, Sandra; LLORET, Jaime. **Low-Cost Microcontroller-Based Multiparametric Probe for Coastal Area Monitoring** [S.L.], v. 23, n. 4, p. 1871, 7 fev. 2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/s23041871>.
31. RACEY, Jonathan. **DEVELOPMENT OF NOVEL TURBIDITY CALIBRATION STANDARDS AND METHODOLOGIES USING APPROPRIATE TECHNOLOGY.** 2019. 43 f. Tese (Doutorado) - Curso de Master Of Science In Chemical Engineering, The Purdue University Graduate School, West Lafayette, 2019.
32. SCHULZ, Jan. **CONVERSION BETWEEN CONDUCTIVITY AND PSS-78 SALINITY.** 2008. Disponível em:
http://www.code10.info/index.php?option=com_content&view=article&id=3D65:conversion-between-conductivity-and-pss-78-salinity&catid=3D54:cat_coding_algorithms_seawater&Itemid=3D79. Acesso em: 18 set. 2023.
33. SEBASTIAN, Sabou. A SURVEY ABOUT POWER CONSUMPTION FOR ARDUINO. **Carpathian Journal Of Electrical Engineering**, Cluj Napoca, v. 14, n. 0, p. 105-109, nov. 2020.
34. SIMONASSI, José Carlos et al. Nutrient variations and coastal water quality of Santa Catarina Island, Brazil Doi: 10.5007/2175-7925.2010v23n1p211. **Biotemas**, [S.L.], v. 23, n. 1, p. 211-223, 26 abr. 2011. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).
<http://dx.doi.org/10.5007/2175-7925.2010v23n1p211>.
35. SOUZA, Karina Terra de et al. Aquecimento de água através do uso de coletores planos. **Bolsista de Valor**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 51-57, nov. 2010.
36. TADDY CHUNG. **The Arduino Guide to Low Power Design** Disponível em:
<https://docs.arduino.cc/learn/electronics/low-power>. Acesso em: 10 ago. 2023.
37. TALLEY, Lynne D. Salinity Patterns in the Ocean. In: MUNN, Ted. **Encyclopedia of Global Environmental Change: volume 1, the earth system: physical and chemical dimensions of global environmental change.** Chichester: John Wiley & Sons, 2002. p. 629-640.
38. THALER, Andrew et al. **Openctd: Construction and Operation.** 2020.

39. TREVATHAN, Jarrod; READ, Wayne; SATTAR, Abdul. Implementation and Calibration of an IoT Light Attenuation Turbidity Sensor. **Internet Of Things**, [S.L.], v. 19, p. 100576, ago. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.iot.2022.100576>.
40. WANG, Youchao; RAJIB, S. M. Shariar Morshed; COLLINS, Chris; GRIEVE, Bruce. Low-Cost Turbidity Sensor for Low-Power Wireless Monitoring of Fresh-Water Courses. **Ieee Sensors Journal**, [S.L.], v. 18, n. 11, p. 4689-4696, 1 jun. 2018. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/jsen.2018.2826778>.
41. WANG, Youchao; RAJIB, S. M. Shariar Morshed; COLLINS, Chris; GRIEVE, Bruce. Low-Cost Turbidity Sensor for Low-Power Wireless Monitoring of Fresh-Water Courses. **Ieee Sensors Journal**, [S.L.], v. 18, n. 11, p. 4689-4696, 1 jun. 2018. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/jsen.2018.2826778>.
42. XIAO, Shiyu et al. CTD Sensors for Ocean Investigation Including State of Art and Commercially Available. **Sensors**, [S.L.], v. 23, n. 2, p. 586, 4 jan. 2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/s23020586>.
43. YAO, Cui-Luan; SOMERO, George N.. The impact of ocean warming on marine organisms. **Chinese Science Bulletin**, [S.L.], v. 59, n. 5-6, p. 468-479, 15 jan. 2014. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11434-014-0113-0>.

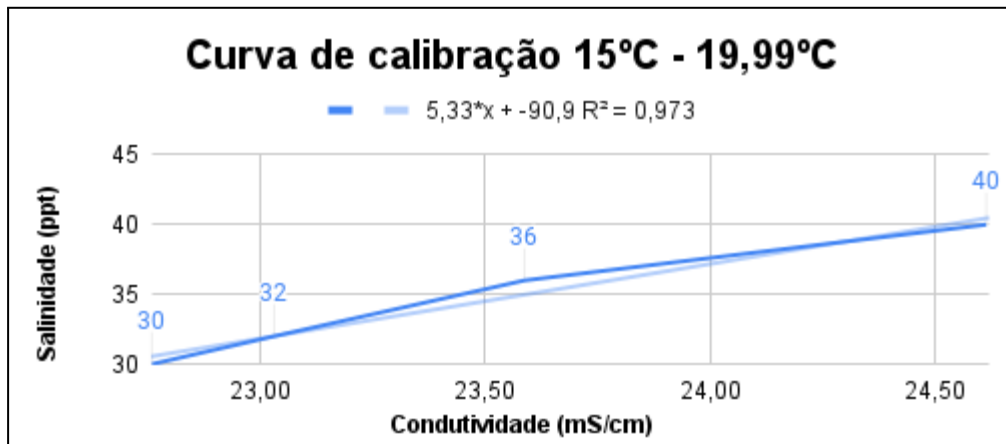
APÊNDICE I - Curvas de calibração do sensor de salinidade

Curva de calibração do sensor de salinidade para 10°C - 14,99°C



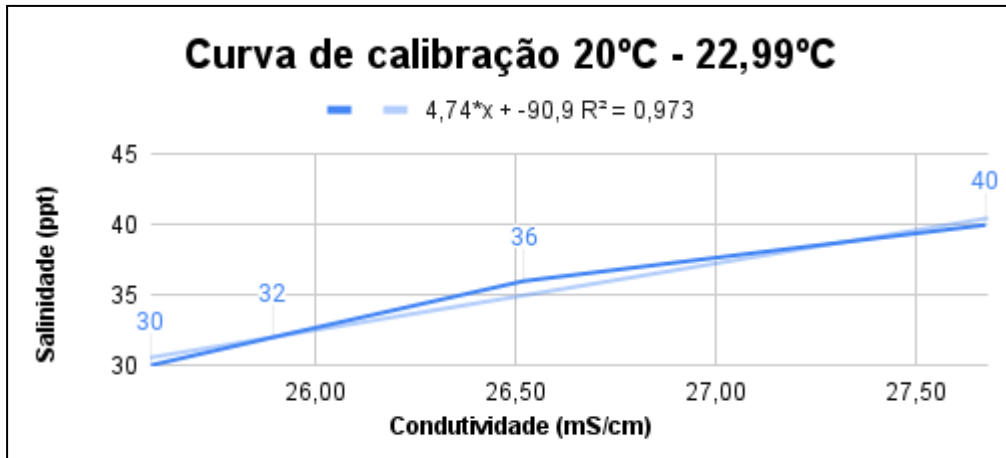
Fonte: Autor

Curva de calibração do sensor de salinidade para 15°C - 19,99°C



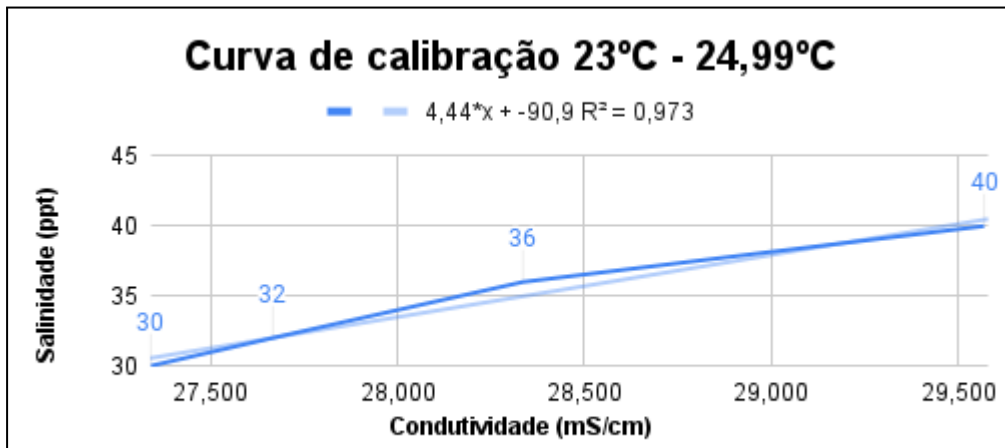
Fonte: Autor

Curva de calibração do sensor de salinidade para 20°C - 24,99°C



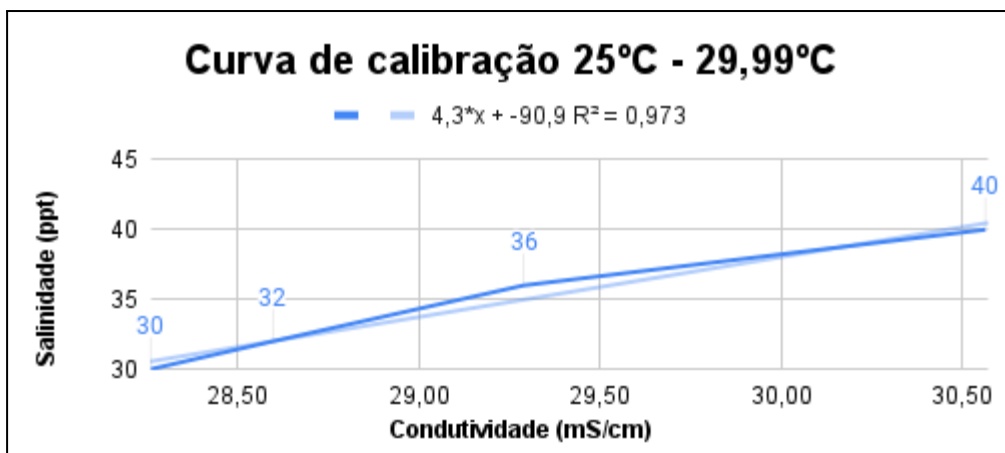
Fonte: Autor

Curva de calibração do sensor de salinidade para 23°C - 24,99°C



Fonte: Autor

Curva de calibração do sensor de salinidade para 25°C - 29,99°C



Fonte: Autor

APÊNDICE II - Dados de calibração do sensor de temperatura

Sensor (°C)	PT100 (°C)	Termômetro Referência (°C)
7,75	7,573	7,3
8	7,763	7,8
8,5	8,067	8,2
10,5	9,2	10,5
11	9,845	10,8
12,75	11,433	12,7
14	12,6	14,1
15,25	13,638	15,6
16,25	14,52	16,7
16,5	14,789	17
17	15,055	17
18	15,974	18,2
18,75	16,511	18,8
19,25	17,195	19,4
19,75	17,665	19,9
20,25	18,094	20,3
20,75	18,491	20,7
21	18,828	21
21,25	19,144	21,4
21,5	19,368	21,6
21,75	19,565	21,8
22	19,737	22
22	19,941	22,1
22,25	20,367	22,3
22,5	20,413	22,4
22,5	20,58	22,5
22,5	20,616	22,7
22,75*	20,824*	23*
25	22,724	25,1
25,25	23,005	25,2
28	26,6	28,6
29,5	27,1	30,5
37,75	35,3	38,3

39,25	36,2	39
39,5	37,8	39,3

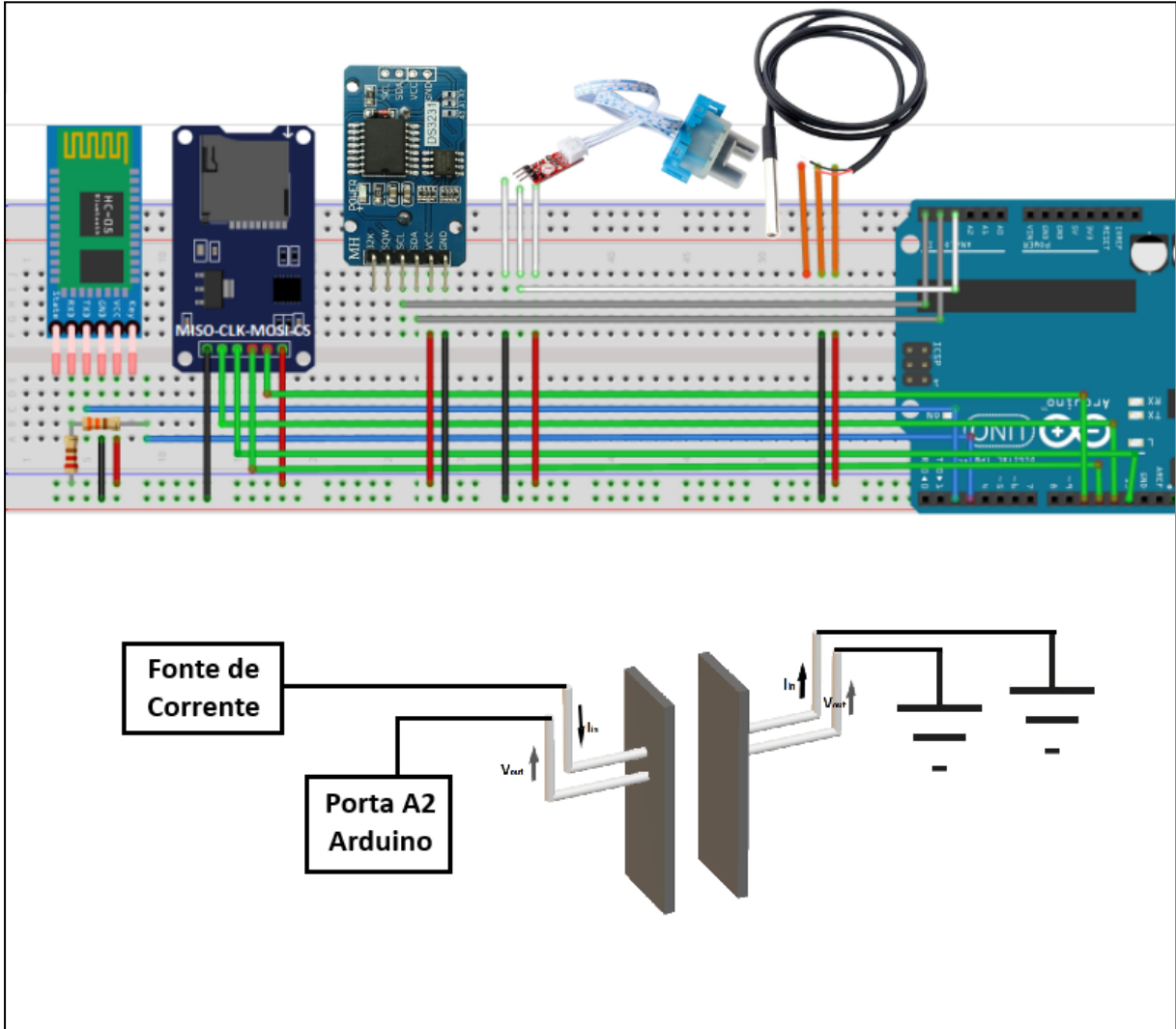
*média das medições na temperatura estabilizada

APÊNDICE III - Dados de calibração do sensor de turbidez

CONCENTRAÇÃO (g)	TURBIDÍMETRO (NTU)	Sensor (V)
0,025	87	3,51
0,05	150	3,41
0,075	183	3,21
0,1	210	3,18
0,025	282	3,13
0,05	481	2,82
0,075	525	2,46
0,1	586	2,36
0,2	710	2,28
0,5	1136	1,59
0,2	1230	1,34
0,5	1487	0,47

*As linhas em cinza escuro são referentes às medições com amido de milho, e as linhas em cinza claro são as medições com achocolatado

APÊNDICE IV - Diagrama esquemático do protótipo



ANEXO I - Fatores de correção ISO 7888

Table 3 – Temperature correction factor, f_{25} , for the conversion of conductivity values of natural waters from θ °C to 25 °C^[5]

θ	f_{25}									
°C	,0	,1	,2	,3	,4	,5	,6	,7	,8	,9
0	1,918	1,912	1,906	1,899	1,893	1,887	1,881	1,875	1,869	1,863
1	1,857	1,851	1,845	1,840	1,834	1,829	1,822	1,817	1,811	1,805
2	1,800	1,794	1,788	1,783	1,777	1,772	1,766	1,761	1,756	1,750
3	1,745	1,740	1,734	1,729	1,724	1,719	1,713	1,708	1,703	1,698
4	1,693	1,688	1,683	1,678	1,673	1,668	1,663	1,658	1,653	1,648
5	1,643	1,638	1,634	1,629	1,624	1,619	1,615	1,610	1,605	1,601
6	1,596	1,591	1,587	1,582	1,578	1,573	1,569	1,564	1,560	1,555
7	1,551	1,547	1,542	1,538	1,534	1,529	1,525	1,521	1,516	1,512
8	1,508	1,504	1,500	1,496	1,491	1,487	1,483	1,479	1,475	1,471
9	1,467	1,463	1,459	1,455	1,451	1,447	1,443	1,439	1,436	1,432
10	1,428	1,424	1,420	1,416	1,413	1,409	1,405	1,401	1,398	1,394
11	1,390	1,387	1,383	1,379	1,376	1,372	1,369	1,365	1,362	1,358
12	1,354	1,351	1,347	1,344	1,341	1,337	1,334	1,330	1,327	1,323
13	1,320	1,317	1,313	1,310	1,307	1,303	1,300	1,297	1,294	1,290
14	1,287	1,284	1,281	1,278	1,274	1,271	1,268	1,265	1,262	1,259
15	1,256	1,253	1,249	1,246	1,243	1,240	1,237	1,234	1,231	1,228
16	1,225	1,222	1,219	1,216	1,214	1,211	1,208	1,205	1,202	1,199
17	1,196	1,193	1,191	1,188	1,185	1,182	1,179	1,177	1,174	1,171
18	1,168	1,166	1,163	1,160	1,157	1,155	1,152	1,149	1,147	1,144
19	1,141	1,139	1,136	1,134	1,131	1,128	1,126	1,123	1,121	1,118
20	1,116	1,113	1,111	1,108	1,105	1,103	1,101	1,098	1,096	1,093
21	1,091	1,088	1,086	1,083	1,081	1,079	1,076	1,074	1,071	1,069
22	1,067	1,064	1,062	1,060	1,057	1,055	1,053	1,051	1,048	1,046
23	1,044	1,041	1,039	1,037	1,035	1,032	1,030	1,028	1,026	1,024
24	1,021	1,019	1,017	1,015	1,013	1,011	1,008	1,006	1,004	1,002
25	1,000	0,998	0,996	0,994	0,992	0,990	0,987	0,985	0,983	0,981
26	0,979	0,977	0,975	0,973	0,971	0,969	0,967	0,965	0,963	0,961
27	0,959	0,957	0,955	0,953	0,952	0,950	0,948	0,946	0,944	0,942
28	0,940	0,938	0,936	0,934	0,933	0,931	0,929	0,927	0,925	0,923
29	0,921	0,920	0,918	0,916	0,914	0,912	0,911	0,909	0,907	0,905
30	0,903	0,902	0,900	0,898	0,896	0,895	0,893	0,891	0,889	0,888
31	0,886	0,884	0,883	0,881	0,879	0,877	0,876	0,874	0,872	0,871
32	0,869	0,867	0,866	0,864	0,863	0,861	0,859	0,858	0,856	0,854
33	0,853	0,851	0,850	0,848	0,846	0,845	0,843	0,842	0,840	0,839
34	0,837	0,835	0,834	0,832	0,831	0,829	0,828	0,826	0,825	0,823
35	0,822	0,820	0,819	0,817	0,816	0,814	0,813	0,811	0,810	0,808