



**UNIVERSIDADE
FEDERAL RURAL
DE PERNAMBUCO**

Eduardo Felipe Lima Lins de Almeida

Investigação e implementação de arquitetura IoT para mensurar o índice de turbidez da água em tempo real para ambientes de Carcinicultura Inteligente utilizando abordagem de calibração alternativa

Recife

2025

Eduardo Felipe Lima Lins de Almeida

Investigação e implementação de arquitetura IoT para mensurar o índice de turbidez da água em tempo real para ambientes de Carcinicultura Inteligente utilizando abordagem de calibração alternativa

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Bacharelado em Ciência da Computação da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação.

Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE
Departamento de Computação
Curso de Bacharelado em Ciência da Computação

Orientador: Prof. Dr. Obionor de Oliveira Nóbrega

Recife
2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Bibliotecária Suely Manzi – CRB/4 - 809

A447i Almeida, Eduardo Felipe Lima Lins de
Investigação e implementação de arquitetura IoT para mensurar o índice de turbidez da água em tempo real para ambientes de carcinicultura inteligente utilizando abordagem de calibração alternativa / Eduardo Felipe Lima Lins de Almeida. – 2025.
28 f.: il.

Orientador: Obionor de Oliveira Nóbrega
Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciência da Computação) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Computação, Recife, BR-PE, 2025.
Inclui bibliografia.

1. Internet das coisas 2. Redes de computadores
3. Dispositivos de internet embarcados 4. Aquicultura 5. Calibração
6. Automação 7. Corrente de turbidez I. Nóbrega, Obionor de Oliveira, orient. II. Título

CDD 004



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO (UFRPE)

<http://www.bcc.ufrpe.br/>

Trabalho defendido por **Eduardo Felipe Lima Lins de Almeida** às 13 horas do dia 07 de agosto de 2025, no link <https://meet.google.com/aan-ftby-aag>, como requisito para conclusão do curso de Bacharelado em Ciência da Computação da Universidade Federal Rural de Pernambuco, intitulado *Investigação e implementação de arquitetura IoT para mensurar o índice de turbidez da água em tempo real para ambientes de Carcinicultura Inteligente utilizando abordagem de calibração alternativa*, orientado pelo prof. Dr. Obionor de Oliveira Nóbrega e aprovado pela seguinte banca examinadora:

Prof. Dr. Obionor de Oliveira Nóbrega

Orientador
DC/UFRPE

Prof. Dr. Fernando Antônio Aires Lins

Avaliador
DC/UFRPE

Agradecimentos

A Deus Pai, Todo Poderoso, por intercessão de Nossa Senhora, pela vida e oportunidade de seguir em frente a cada dia.

Aos meus pais, Álvaro Cristiano e Sandra Maria, minha irmã, Daniela Beatriz e a toda minha família, por sempre acreditarem que, a cada novo amanhecer, eu seria e serei capaz de realizar os meus objetivos.

Ao professor Dr. Obionor de Oliveira Nóbrega, não só pela orientação e paciência incansáveis durante o curso, mas por ser o padrinho que, desde o início, foi também conselheiro, amigo e guia na execução de cada projeto e decisão tomada no decurso desta que foi uma das fases mais importantes da minha vida. Obrigado por acreditar em mim e pela parceria nos momentos de luta e de glória.

Aos amigos da Smart Rural, pela união, competência e pelos ensinamentos em cada trabalho realizado. Em especial, gratidão ao amigo e mestre Fábio Alves de Freitas, pelo companheirismo e pela grandeza na sua atuação como pesquisador e profissional da Computação.

À professora Dra. Jeísa Pereira de Oliveira Domingues, pela excelência e insondáveis amor e dedicação ao ofício, características da pessoa e doutora, profissional da qual eu tive e tenho a honra de ser discente e admirador. Gratidão pelo auxílio e por todas as palavras e ações que me fizeram acreditar cada vez mais em mim mesmo.

A todos os professores, discentes e profissionais do Departamento de Computação e de toda a UFRPE que acompanharam o meu percurso até este momento.

Aos meus amigos, pela amizade e confiança em toda sorte de realizações dentro e fora da universidade.

Resumo

A criação de organismos aquáticos (aquicultura) é de extrema relevância no campo da produção de alimentos no Brasil e no mundo. A manutenção de um ambiente adequado, por meio do controle da qualidade da água, é essencial para a viabilidade de todo o processo produtivo. Dentre os parâmetros que determinam a qualidade, a turbidez da água – medida do grau de diminuição da transparência do ambiente aquático – foi abordada neste trabalho. Realizou-se o desenvolvimento e a avaliação de uma arquitetura para um equipamento baseado no conceito de Internet das Coisas (IoT), utilizando uma abordagem alternativa para a calibração, voltada para o monitoramento da turbidez da água em ambientes de criação de camarões (carcinicultura) e concebida para atender às necessidades de baixo custo, automação e monitoramento remoto.

Palavras-chave: Aquicultura, Turbidez, IoT, Calibração, Automação.

Abstract

Aquaculture is of critical importance to food production in Brazil and worldwide. Maintaining optimal water quality is essential for the viability of this production process. This study focuses on one key water quality parameter: turbidity, which measures the reduction of transparency in aquatic environments. We developed and evaluated an Internet of Things (IoT)-based architecture for monitoring water turbidity in shrimp farming. The system utilizes an alternative calibration approach and was designed to fulfill the core requirements of low cost, automation, and remote monitoring capabilities.

Keywords: Aquaculture, Turbidity, IoT, Calibration, Automation.

Sumário

1	<u>Introdução</u>	6
2	<u>Fundamentação Teórica</u>	9
2.1	<u>Investigação na Literatura</u>	9
2.2	<u>Mensuração da Turbidez</u>	9
2.3	<u>Sensores</u>	11
2.4	<u>Soluções de Calibração</u>	12
3	<u>Metodologia</u>	14
3.1	<u>Calibração</u>	14
3.2	<u>Arquitetura da Solução</u>	18
3.3	<u>Experimentação</u>	20
4	<u>Resultados e Discussão</u>	22
5	<u>Considerações finais</u>	24
	<u>Referências</u>	

1. Introdução

O agronegócio, a despeito das ações empreendidas em razão do contexto pandêmico ocasionado pela SARS-CoV-2 (COVID-19), a qual gerou impactos significativos para a economia e o desenvolvimento de diversos setores em escala global, com alguns ainda perceptíveis, é um setor que perdura em relevância no Brasil. Dentre as áreas de destaque no escopo do agronegócio no Brasil está a aquicultura, denominação para a criação de organismos aquáticos. Acerca desta, em levantamentos recentes sobre a carcinicultura (cultivo de camarões) na região Nordeste do país, de acordo com relatórios da ABCC (Associação Brasileira de Criadores de Camarão), esta produziu no ano de 2019 cerca de 90 mil toneladas do produto, com os maiores valores registrados nos estados do Ceará e do Rio Grande do Norte (ABCC, 2020).

É patente que a criação de organismos aquáticos em ambientes controlados, com altas taxas de produção por metro cúbico, associada ao emprego de tecnologias de controle que estão em contínua expansão (com as quais aquela se liga e recebe a denominação de Aquicultura Inteligente ou Aquicultura 4.0), com relevância para o uso de equipamentos e serviços baseados no conceito de Internet das Coisas (*Internet of Things* ou IoT), mostra-se essencial e encontrará ainda maior importância em um futuro próximo, quando a demanda por alimentos e por práticas mais sustentáveis deverá impelir os produtores a buscarem a adequação dos seus sistemas às tendências de mercado, às necessidades globais e a utilizarem os seus recursos, assim como os do meio ambiente como um todo, de maneira consciente e otimizada.

A Internet das Coisas, nesse sentido, traz a ideia de ubiquidade dos sistemas de computação associada à conectividade dos seus dispositivos, ambas aplicadas a finalidades específicas. Tais equipamentos (as “coisas”), captando informações do ambiente por intermédio de sensores e realizando ações em virtude do seu aprimoramento, através de atuadores, estão inseridos no meio e buscam minimizar a necessidade de intervenção humana.

A utilização de dispositivos voltados para a automação na tomada de decisões por parte dos criadores acarreta em melhorias constatáveis dentro de todo o âmbito do processo produtivo. Dentre eles, agentes responsáveis pela medição de

variáveis essenciais na manutenção e gestão do ambiente em associação a ações empregadas na correção de erros ou deficiências, ou em razão da ausência de elementos e condições ideais no meio objetivado.

Todavia, grande parte dos dispositivos presentes no mercado são proprietários, como afirma Helal et al. (2018), sendo de alto custo e sem interoperabilidade com equipamentos de outros fabricantes. No contexto da aquicultura, a aplicação de tais ferramentas se mostra inviável em cultivos de pequeno porte e, em especial, para os pequenos produtores, os quais utilizam métodos manuais, imprecisos e, se realizados sem a preparação e a experiência adequadas, prejudiciais para monitorar os parâmetros de controle da qualidade da água. O controle de tais variáveis é imprescindível para o conhecimento do sistema e para a tomada de decisões em virtude da necessidade de mudanças e da manutenção de um estado adequado. Um dos parâmetros que influenciam a qualidade da água na aquicultura é a turbidez.

A turbidez é uma medida óptica estabelecida como a diminuição do grau de transparência de um ambiente aquático em razão da presença de sólidos em suspensão – a qual é a sua principal causa e é avaliada como TSS (Total de Sólidos Suspensos) (Fondriest Environmental INC, 2014) – e de partículas dissolvidas que, em conjunto, contribuem para a obstrução da passagem da luz por conta da sua dispersão (ou espalhamento), reflexão e atenuação através da água. Desse modo, quanto maior a intensidade de tais fenômenos, maior é o valor da turbidez (Ziegler, 2002). Em suma, considerando-se a individualidade de cada contexto de aplicação, os fatores que mais comumente influem para o aumento da turbidez são: a presença de fitoplâncton e de algas; a circulação e subida de sedimentos de erosão externa em depósito no fundo da água; decomposição de matéria orgânica; mistura de soluções contaminadas com detritos e entre outros (Arana Obra, 2020).

O acompanhamento dos níveis da turbidez nos sistemas de aquicultura é realizado por meio de equipamentos manuais que dependem da experiência do operador de perceber, visualmente, as alterações do parâmetro na água. O emprego de aparelhos eletrônicos em trabalhos especializados na área de aquicultura é, por outro lado, muitas vezes limitado a medidores pontuais, ou seja, que não permitem o monitoramento constante, além de serem demasiado custosos para o emprego em cenários de menor porte.

Neste trabalho, objetivou-se o desenvolvimento de uma arquitetura, tomando como base o conceito de Internet das Coisas, de um equipamento orientado para a observação e o controle da turbidez da água em ambientes de aquicultura. Mais especificamente, o monitoramento inteligente e de baixo custo do parâmetro em ambientes de carcinicultura de maneira a possibilitar o manejo remoto e automático por meio de uma proposta de dispositivo e de calibração alternativos às soluções comerciais.

Esta pesquisa recebeu financiamento do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e apoio dos Departamentos de Computação (DC) e de Pesca e Aquicultura (DPAq) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE).

2. Fundamentação Teórica

2.1. Investigação na Literatura

Inicialmente foi realizada uma pesquisa contemplando uma revisão da literatura, de modo a permitir uma visualização de um panorama amplo dos temas abordados no trabalho, captar referências acerca do estado da arte e evitar que avanços importantes fossem negligenciados. Buscou-se responder:

- *Quais as soluções existentes no estado da arte para a mensuração da turbidez na aquicultura?*
- *Dentre elas, quais podem ser alinhadas com as necessidades de baixo custo, automação e monitoramento remoto?*
- *De que maneira é possível regular essas soluções para que retornem resultados confiáveis por meio do uso de técnicas acessíveis de ajuste?*

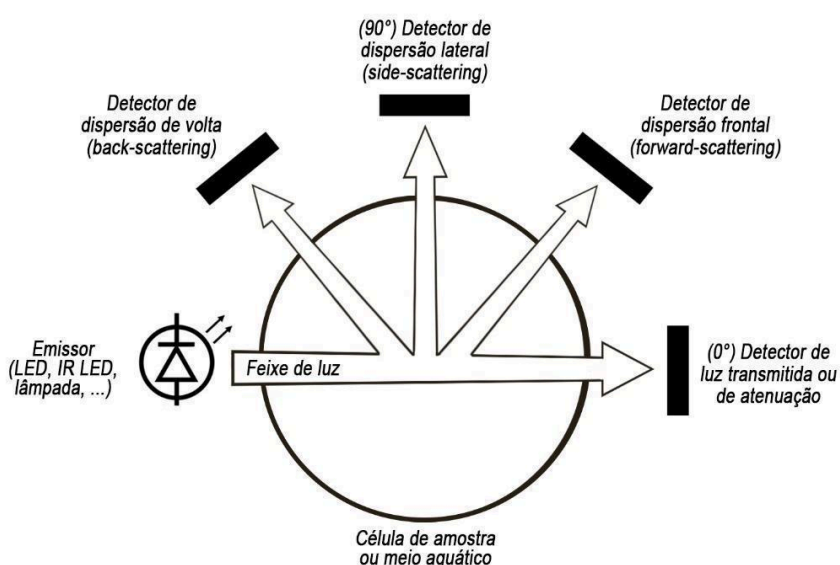
Com base nesses questionamentos, foram levantados trabalhos nas bases de busca especializadas tomando como intervalo de tempo os anos de 2010 até 2021. Tais obras representam o suporte teórico que foi fundamental para o trabalho, o qual é descrito nas próximas subseções e ambicionou responder os quesitos formulados previamente.

2.2. Mensuração da Turbidez

A mensuração da turbidez na aquicultura é geralmente realizada por meio de equipamentos manuais, como o disco de Secchi e o tubo de transparência (ou de turbidez) que dependem unicamente da capacidade do seu operador de, a olho nu, perceber as diferenças de nebulosidade, as mudanças de cores e o nível de transparência da água, de modo que não são apropriadas para o uso em aplicações específicas que demandam rigor no controle da qualidade do meio aquático (ABCC, 2010; Dias, 2019; Fondriest Environmental INC, 2014; Racey, 2019). Utilizando-se o método do disco de Secchi, por exemplo, a água é tão menos turva quanto mais distante o disco estiver da superfície e ainda permanecer visível. Para a carcinicultura, a sua profundidade adequada deve estar na faixa de 25 a 40 centímetros (ABCC, 2010; Muchtar, Sanjaya e Hariadi, 2017; SENAR, 2017).

Em se tratando de ferramentas eletrônicas, segundo Kitchener, Wainwright e Parsons (2017), a medição da turbidez se divide em duas metodologias básicas, a turbidimetria e a nefelometria: na primeira é avaliada a intensidade da transmissão da luz, enquanto a segunda determina o seu grau de espalhamento na água. Sensores eletrônicos de turbidez utilizam um feixe de luz originado de um emissor que, tendo a sua trajetória e intensidade alteradas pelas partículas em suspensão no meio aquático, é captado por um receptor disposto em um ângulo específico do equipamento. Para o autor, é adotado o que se segue: o receptor disposto a 0° do feixe detecta a denominada atenuação “pura” (ou detecção da luz transmitida); se colocado de 0° a menos de 90° , diz-se que o equipamento possui um detector de “dispersão frontal” (*forward-scattering*); se disposto à exatamente 90° , de “dispersão lateral” (*side-scattering*); e se colocado de 90° até 180° , nomeia-se detector de “dispersão de volta” (*back-scattering*). Tais elementos são ilustrados na Figura 1.

Figura 1 – Posições de detectores da dispersão (espalhamento) do feixe de luz emitido pela fonte após a sua interação com a solução-alvo (célula de amostra ou o meio aquático).



Fonte: Autor.

Os trabalhos associados ao contexto de Internet das Coisas utilizam sensores baseados na percepção da transmissão direta, isto é, que detectam a atenuação do feixe de luz quando passa pelo meio aquático e, por fim, chega a um receptor

posicionado a 180° do emissor (a 0° com relação ao feixe, na Figura 1). O que é, dessa forma, detectado por esses dispositivos é a quantidade de luz transmitida pela fonte e que chega ao fotorreceptor, sendo empregados como sensores de turbidez e não do espalhamento de luz (Fondriest Environmental INC, 2014). Tais equipamentos detinham o propósito inicial de serem utilizados em máquinas de lavar, empregados para aproximar o nível de limpeza da água (Dias, 2019). A unidade padrão para o método de mensuração por atenuação (medição a 180° da fonte de luz) é indicada como Unidade de Atenuação de Formazina, ou FAU, porém, em se tratando de aparelhos disponíveis no mercado, a unidade comumente adotada é a NTU, abreviação para Unidade Nefelométrica de Turbidez (Fondriest Environmental INC, 2014; Trevathan, Read e Schmidtke, 2020).

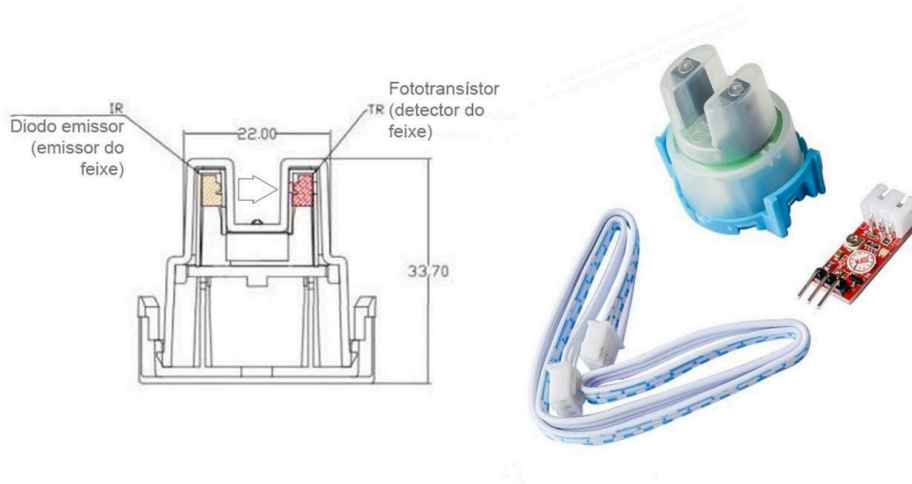
A definição da faixa de turbidez mais adequada para cada tipo de criação depende da espécie a ser inserida no ambiente aquático e da natureza deste. No campo da carcinicultura, Shetty, Pai e Pai (2018) trata das espécies *Penaeus monodon* (camarão-tigre-gigante) e do *Penaeus indicus* (camarão-branco), de maneira que referencia como adequados para o seu cultivo os valores de 28 a 32 NTU; Kasnir, Harlina e Rosmiati (2014) explicita que a tolerância é para os valores menores ou iguais a 30 NTU; Setiyawan, Hikmah e Marzuki (2020) cita que a faixa de 25 a 400 NTU é a mais apropriada para a manutenção de condições ideais de crescimento e desenvolvimento da espécie *Litopenaeus vannamei* (camarão-de-patas-brancas ou camarão-branco-do-pacífico); e, com respeito a outros organismos aquáticos e aplicações afins, em média, consideram-se valores de até 100 NTU (Chandrappa et al., 2017; Shetty, Pai e Pai, 2018; Trevathan, Read e Schmidtke, 2020; Wang et al., 2018).

2.3. Sensores

Foram discriminados três sensores de turbidez, dos quais: o primeiro de referência “TSD-10”; o segundo, “SEN0189”, da fabricante *DFRobot*; o terceiro, por fim, de referência “TS-300B”. Sobre o módulo sensor “SEN0189”, a própria empresa fabricante do equipamento fornece a curva de calibração e as instruções de uso (*DFRobot*). No entanto, como citado em Trevathan, Read e Schmidtke (2020), o sensor da *DFRobot* não opera de maneira satisfatória em valores muito baixos de NTU, isto é, para o intervalo adotado na pesquisa: aferições abaixo de 100 NTU. O

sensor “SEN0189” opera na faixa de 0 a 3000 NTU. Ainda segundo Trevathan, Read e Schmidtke (2020), no entanto, o equipamento de referência “TS-300B” opera em um intervalo menor, retornando valores de 0 a 1000 NTU.

Figura 2 – Sensor "TS-300B" e placa adaptadora "MJKDZ" (direita); esquema interno da sonda do sensor (esquerda).



Fonte: Compilação do autor a partir de imagens de Epik Electronics e Probots.

A sonda desse tipo de módulo sensor de turbidez é composta pela placa do sensor protegida por um encapsulamento plástico que a isola do meio aquático. Contudo, a sonda não pode ser submersa além da sua altura (na Figura 2, 33.7mm), dado que não é impermeável e a infiltração de água é capaz de danificar o equipamento.

2.4. Soluções de Calibração

No âmbito da mensuração da turbidez, a calibração de dispositivos eletrônicos é usualmente realizada através de substâncias primárias que são fabricadas, em diferentes níveis, para atingirem valores padrão em suas unidades (como o NTU), associadas com equipamentos laboratoriais de medição do parâmetro, denominados “turbidímetros”. Em Trevathan, Read e Schmidtke (2020), foi utilizado um equipamento da fabricante *Hach* para calibrar o sistema.

Na literatura, o composto químico mais abordado como padrão primário de turbidez é a formazina, uma solução esbranquiçada e de caráter leitoso sintetizada por frações de sulfato de hidrazina ($N_2H_6SO_4$) e hexametenotetramina ($C_6H_{12}N_4$)

dissolvidas em água, de maneira a ter em sua mistura, com valores e especificações predeterminadas, o valor de 4000 NTU (Racey, 2019). Tal composto é adotado por órgãos de regulamentação que o identificam como um método primário de calibração, tais como a USEPA (*U.S. Environmental Protection Agency*), que a catalogou no método 180.1, e a ISO (*International Standards Organization*) 7027 de 1999. No entanto, além da formazina e de outros compostos de primeira ordem, padrões de calibração secundários, que são calibrados a partir dos primários, também podem ser utilizados para checagens diárias de turbidímetros (Racey, 2019).

A formazina, embora esteja disponível no mercado brasileiro e possa ser fabricada de modo relativamente simples, como descrito em trabalhos disponíveis na bibliografia, é um composto químico tóxico, de caráter carcinogênico, de custo moderado a alto, instável e acessível apenas por meio de registro e fiscalização (Dias, 2019; Kitchener, Wainwright e Parsons, 2017; Münzberg et al., 2017; Racey, 2019).

Ademais, Racey (2019) aponta como relevante, quando fala da escolha do material a se utilizar como padrão de referência, observar se a sua composição é similar àquela que estará presente no material a ser avaliado, dado que a turbidez é um parâmetro utilizado em uma extensa variedade de aplicações e, em cada caso, a natureza das partículas da solução é um fator determinante na precisão dos registros do sensoriamento. Não é possível, nesse sentido, estabelecer uma relação entre os materiais da formazina e aqueles que estarão presentes no meio aquático.

Racey (2019) teve como um dos objetivos de seu trabalho a busca e a testagem de materiais que pudessem vir a substituir a formazina como padrões de calibração da turbidez, para que fossem estáveis, solúveis em água, de sintetização simples e apropriados para aplicações não industriais e de baixa escala. Em seu trabalho, duas das suas soluções são facilmente manipuláveis: o cloreto de sódio (NaCl) iodado (sal de cozinha) e o não-iodado (sal sem iodo). Ademais, o enfoque residu no intervalo de 1 a 100 NTU, em razão do seu uso em tecnologias adequadas ao controle da qualidade da água.

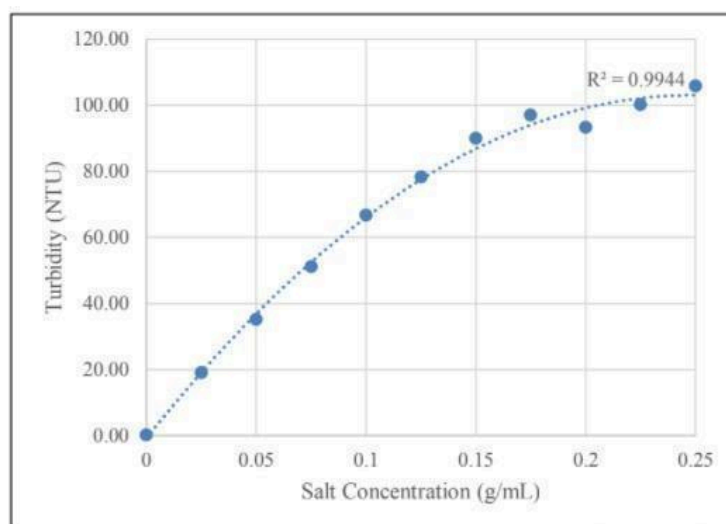
3. Metodologia

Dada a fundamentação adquirida por meio da revisão bibliográfica realizada neste trabalho, utilizou-se um dos equipamentos referidos na literatura como base para a construção da arquitetura objetivada (o “TS-300B”). Da mesma maneira, em razão de se obter leituras precisas e abordar um método inovador de calibração utilizando recursos simples e de baixo custo, buscou-se aplicar duas das soluções de Racey (2019).

3.1. Calibração

De forma a construir as curvas de calibração para as duas formas do NaCl, Racey (2019) diluiu medidas do soluto em frações de água deionizada separadas em amostras que, uma após a outra, foram mensuradas e associadas por meio da comparação com dissoluções de formazina e de um turbidímetro calibrado. Os resultados da experimentação utilizando o sal iodado foram expostos no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Diagrama de dispersão que expõe a relação entre a turbidez (NTU) e a concentração de sal iodado (g/mL), com curva obtida por regressão quadrática.



Fonte: Racey (2019)

Em razão de iniciar a experimentação com os dados referentes ao sal iodado, fez-se uso da ferramenta online *WebPlotDigitizer* (Rohatgi, 2020) que proporcionou a estimativa dos valores dos pontos do Gráfico 1, dado que não foram disponibilizados

pelo autor. Em seguida, repetiu-se o experimento descrito no artigo para o preparo de uma solução proporcional à 1g de sal iodado para 4 mL de água deionizada (da marca Tulipa) que, em Racey (2019), teve o nível de turbidez identificado como de aproximadamente 105 NTU. De posse do módulo sensor “TS-300B” e da placa “MJKDZ”, realizou-se a medição da solução em sua concentração inicial e em diluições reduzidas em intervalos de 10%, totalizando 10 amostras e uma adicional sem soluto (i.e., em g/mL: 0.25; 0.225; 0.2; 0.175; 0.15; 0.125; 0.1; 0.075; 0.05; 0.025 e 0), conforme o realizado pelo autor supracitado, para verificar o nível de tensão aferido em cada uma pelo módulo sensor “TS-300B”. O trecho do experimento que mais esteve próximo do comportamento esperado para o sensor de turbidez se encontra descrito no Quadro 1.

Quadro 1 – Dados obtidos a partir do sensor que relacionam a dissolução do sal iodado com as suas respectivas saídas de tensão.

Dissolução de sal iodado (g/mL)	0	0.025	0.05	0.075	0.1	0.125	0.15	0.175	0.2	0.225	0.25
Tensão média (V)	3.64	3.61	3.51	3.41	3.37	3.28	3.7	3.54	3.68	3.6	3.59

Fonte: Autor.

É possível analisar, no Quadro 1, que a tensão cai progressivamente à medida que a concentração do soluto aumenta. Contudo, na amostra com 0.15 g por mililitro de água deionizada, o valor da tensão sobe de maneira repentina e aparenta diminuir novamente nas amostras seguintes. Tal comportamento guarda relação com a baixa concentração do soluto na água, dado que o sal se dissolve rapidamente nas concentrações descritas, além dos limites de precisão do sensor na detecção das diferenças demasiado sutis entre uma amostra e outra.

Ademais, em virtude da preocupação quanto à precisão dos valores para o sal iodado obtidos pela ferramenta *online WebPlotDigitizer*, seguiu-se a experimentação com os valores referentes ao sal não-iodado. Os seus dados, ou seja, os valores em NTU para cada dissolução do soluto, ao contrário do caso do sal

iodado, foram descritos em quadro disponível em apêndice no artigo de Racey (2019). Tais dados são descritos a seguir: às concentrações de cloreto de sódio (em g/mL) 0.1, 0.09, 0.08, 0.07, 0.06, 0.05, 0.04, 0.03, 0.02, 0.01 e 0 associaram-se, respectivamente, os valores da turbidez (em NTU) 99.5, 101.98, 92.45, 82.02, 71.83, 61.03, 50.13, 38.3, 26.15, 12.95 e 0.12. Nele foi descrita a dissolução de 1g de soluto em 10 mL de água e a produção de amostras diluídas em intervalos de 10% partindo da original. Em gráfico semelhante ao Gráfico 1, no artigo, expõem-se os resultados com o primeiro dado (0.1 g/mL – 99.5 NTU) removido para que se fosse possível obter uma curva com coeficiente de determinação (R^2) igual a 1, construída por meio de regressão quadrática.

Foi realizado um experimento a partir dos dados concernentes ao sal não iodado, os quais são expostos no Quadro 2.

Quadro 2 – Dados obtidos a partir do sensor que relacionam a dissolução do sal iodado com as suas respectivas saídas de tensão.

Dissolução de sal não iodado (g/mL)	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.1
Tensão média (V)	3.655	3.645	3.66	3.64	3.64	3.585	3.62	3.58	3.58 5	3.605	3.65

Fonte: Racey (2019).

De modo a obter uma curva de calibração para o sensor de turbidez a partir dos dados do Quadro 2, foram utilizadas a regressão linear (do primeiro grau) e quadrática, empregadas em Racey (2019), além da composição de funções para obter uma aplicação matemática capaz de associar valores de tensão (em Volts) a valores referentes à turbidez (em NTU).

A partir dos dados apresentados no Quadro 2, em seguida da sua adequação ao cálculo descrito a seguir, como realizado em Racey (2019), é possível extrair relações determinadas pelo procedimento estatístico denominado regressão. O seu objetivo é compreender e ilustrar o grau de relacionamento entre dois conjuntos de dados e, a partir dele, determinar uma equação (a qual gera a curva da regressão) que seja a mais apta a explicar essa relação. Para este trabalho, foi utilizado o

modelo de regressão linear (determinação de uma função do primeiro grau) e o de regressão quadrática (estabelecimento de uma função quadrática, ou do segundo grau), através do método dos mínimos quadrados (Devore, 2011). Estes métodos, em Racey (2019), foram utilizados para determinar as curvas, como a ilustrada no Gráfico 1. De maneira a demonstrar se as curvas de fato explicam, com o mínimo de erro possível, a variação de um dos conjuntos de dados (y) a partir do outro (x), é calculado o coeficiente de determinação (R^2) que indica a proporção da variação do termo dependente (y) que pode ser explicada pelo modelo: sendo um número que varia de 0 a 1, quanto mais próximo de 1, mais o modelo explica a variação dos dados (Asuero, Sayago e Gonzalez, 2006; Devore, 2011).

Equações 1 – Equações para o cálculo da regressão linear e quadrática e do coeficiente de determinação.

Regressão Linear (A)	(R^2 ou R-quadrado) (B)
$\hat{y} = ax + b$ $a = \hat{a} = \frac{\Sigma xi \Sigma yi - n \Sigma xi yi}{(\Sigma xi)^2 - n \Sigma xi^2}$ $b = \hat{b} = \frac{\Sigma xi \Sigma xi yi - \Sigma xi^2 \Sigma yi}{(\Sigma xi)^2 - n \Sigma xi^2}$	$R^2 = 1 - \frac{\Sigma (yi - \hat{y})^2}{\Sigma (yi - \bar{y})^2}$ $= 1 - \frac{\Sigma [yi - (\hat{b} + \hat{a}xi)]^2}{\Sigma yi^2 - (\Sigma yi)^2/n}$
Regressão Quadrática (C)	
$\hat{y} = ax^2 + bx + c$ $\begin{cases} a \Sigma xi^2 + b \Sigma xi + nc = \Sigma yi \\ a \Sigma xi^3 + b \Sigma xi^2 + c \Sigma xi = \Sigma xi yi \\ a \Sigma xi^4 + b \Sigma xi^3 + c \Sigma xi^2 = \Sigma xi^2 yi \end{cases}$	$\bar{y} = \frac{\Sigma yi}{n}$ $\Sigma xi = \Sigma_{i=1}^n xi$ <p><i>n – número de elementos do conjunto</i> <i>xi – i-ésimo termo independente do i-ésimo ponto (xi, yi) do conjunto</i></p>

Fonte: Asuero, Sayago e Gonzalez, 2006; Devore, 2011; PlanetCalc LLC.

Conseqüentemente, foram obtidas as seguintes equações: a primeira, calculada por Racey (2019) com base nas leituras do sal não iodado, por meio de regressão quadrática, com um R^2 igual a 1; em segundo lugar, o conjunto de curvas (computadas por meio das Equações 1) e, respectivamente, as suas equações, foi obtido por meio de regressão linear e quadrática. A primeira equação tem como variável independente a quantidade de soluto por mililitro de água (em g/mL) e a dependente associada aos valores da turbidez em NTU, enquanto que as segundas

equações têm como variável independente a tensão (em Volts) e a dependente representada pela independente da primeira equação (soluto por mililitro, em g/mL).

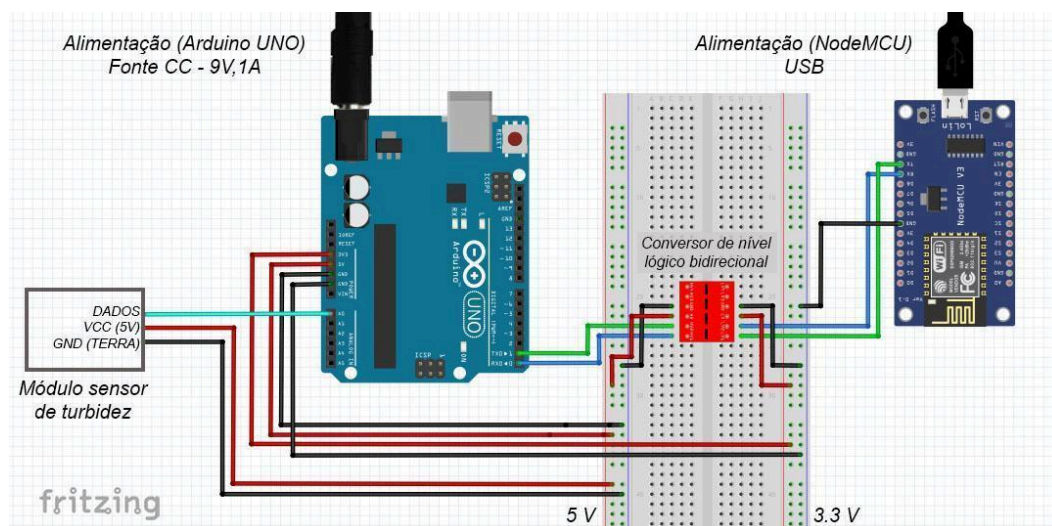
Em virtude da obtenção de uma função capaz de associar valores de tensão do sensor (em Volts, pela variável independente x) a valores da turbidez (em NTU, pela variável dependente y), aplicou-se o conceito de composição de funções, obtido do Cálculo numérico. Na composição, duas funções, $g(a)$ (de domínio A e imagem B) e $f(b)$ (de domínio B e imagem K), dado que g possui a imagem equivalente ao domínio de f , são compostas para obter uma função h (conhecida como $f \circ g$) que detém o domínio de g e a imagem de f (Stewart, 2011). Tal abordagem foi de interesse, pois, como exibido acima: a equação de Racey (2019) tem o domínio expresso pelo intervalo das diluições em g/mL e a imagem pelo intervalo das leituras em NTU ($f: \text{g/mL} \rightarrow \text{NTU}$). As equações obtidas na experimentação têm o domínio no intervalo das tensões em Volts e a imagem no das dissoluções em g/mL ($g: V \rightarrow \text{g/mL}$). Enquanto, por fim, a equação objetivada deve ter o domínio no intervalo de tensões em Volts e a imagem no das leituras em NTU ($h: V \rightarrow \text{NTU}$), o que, por meio da composição de funções, pôde ser alcançado.

Posteriormente, uma curva disponibilizada por um revendedor do equipamento foi adicionada para fins de testagem adicional (Airet Store).

3.2. Arquitetura da Solução

Foi utilizada uma placa *Arduino UNO* para a alimentação, recebimento e manipulação inicial dos dados do sensor, o qual foi conectado a uma placa *NodeMCU ESP-12E* para o envio dos dados calculados pelas curvas, e do nível de tensão respectiva, para a *Internet*. Os dados foram agregados e disponibilizados no *framework dojot*, uma plataforma nacional e de código aberto para o desenvolvimento de soluções no campo da Internet das Coisas, com gerenciamento de dispositivos, visualização em tempo real e interface para acesso e persistência dos dados.

Figura 3 – Diagrama da arquitetura do circuito do sistema. Desenvolvido na plataforma *Fritzing*.



Fonte: Autor.

Em Trevathan e Jhonstone (2018) e Trevathan, Read e Schmidtke (2020), é observada a necessidade da construção de um aparato de vedação que permita ao sensor operar debaixo d'água, em razão da medição da turbidez em sítios com profundidades diversas (dado que o sensor não é impermeável na parte superior) e com isolamento luminoso, pois o sensor de turbidez opera com um transmissor e um receptor infravermelho, que são afetados significativamente pela presença da luz.

No presente trabalho, o processo de vedação do sensor e, em adição, a montagem da proteção do circuito do sistema, foram realizados da seguinte maneira: o encapsulamento plástico da sonda foi isolado do meio aquático através do seu encaixe em um tubo de PVC modelado e vedado pela disposição de camadas externas de fita de auto fusão e da aplicação de silicone acético, interna e externamente ao tubo; o circuito com as placas *Arduino* e *NodeMCU* foi isolado por uma caixa hermeticamente fechada.

3.3. Experimentação

Para avaliar a solução proposta, seguiu-se um cronograma de verificação em ambiente controlado na Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). Foi preparado um ambiente miniaturizado, protegido da luz solar e dotado de um tanque com meio aquático submetido a condições semelhantes às de uma criação convencional de organismos aquáticos, com aeração constante e disposição de matéria orgânica (ração) em intervalos regulares (como ilustra a Figura 4).

Figura 4 – Aparência externa do corpo do sistema de monitoramento da turbidez da água e a sua disposição no tanque para experimentação.



Fonte: Autor.

A placa *Arduino*, como supracitado, alimentou o sensor de turbidez (colocado na ponta inferior do tubo de PVC), do qual recebeu os valores de tensão aferidos na água submetida a diferentes estados de transparência. A tensão foi, a cada leitura, adotada como argumento para as quatro funções internas do seu código-fonte que, como resultado, retornaram, cada uma, seus respectivos valores de turbidez. De modo a observar quando os valores da tensão estivessem fora dos intervalos de cada curva de calibração, adicionou-se um dado de “alerta”, que enviou uma informação extra à *Internet* (plataforma *online dojot*) sempre que a tensão não esteve dentro do intervalo de domínio das curvas.

Figura 5 – Visualização dos dados em tabelas e gráficos (*dashboard*) na plataforma *dojot*.



Fonte: Autor (captura da plataforma *dojot*).

Cada um dos dados gerados na placa *Arduino* foram, então, repassados para uma placa *NodeMCU* para serem enviados, em formato JSON e com o uso da tecnologia *Wi-Fi*, para a plataforma *dojot*, conforme ilustra a Figura 5. Nesta figura é possível visualizar, à esquerda, dois gráficos (o primeiro para as quatro curvas e o segundo para a curva da equação obtida com o revendedor do sensor) e, à direita, uma tabela com os valores respectivos de cada ponto, em NTU.

O experimento ocorreu no intervalo de 15 dias com o sistema ativo, em primeiro momento, durante o dia e, posteriormente, de forma constante. No segundo intervalo, testou-se a vedação a longo prazo, mantendo-se o sensor em operação ininterrupta.

4. Resultados e Discussão

Em se tratando da parte física (*hardware*) do sistema, o comportamento esteve de acordo com o esperado. A montagem do circuito com a placa *Arduino*, a placa *NodeMCU* e a definição da ponte serial (a qual permite o envio de dados de uma placa para a outra, em sincronia com a taxa de velocidade da transmissão de dados, ou *baud rate*) para a sua interconexão é de procedimento simples. Com respeito a parte lógica (*software*): a configuração do *Arduino* calculou os valores das curvas de calibração e os encaminhou para o *NodeMCU*, o qual os enviou em formato JSON para o servidor da *dojot* na Internet, por meio de uma conexão *Wi-Fi*, a cada 10 segundos. Não houve problemas com a parte física enquanto esteve ativa, assim como a plataforma *dojot*, que persistiu e exibiu os dados em visualizações gráficas atualizadas em tempo real.

A vedação permitiu que o equipamento se mantivesse impermeável, com relação à placa do circuito da sonda do equipamento, no intervalo da experimentação da pesquisa. Foi observado que a vedação, quando exposta a longos períodos no ambiente, reteve em sua superfície as substâncias dissolvidas do meio (i.e., a matéria orgânica utilizada para a simulação de um ambiente real).

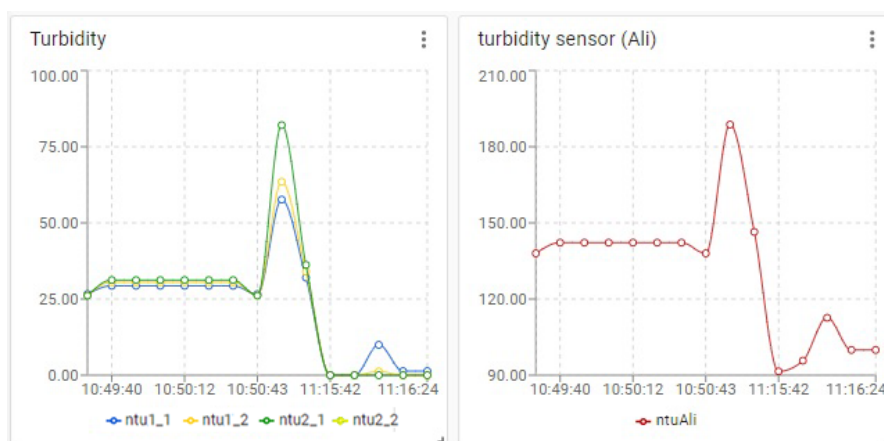
Com respeito à sujidade, foi observado o comentário de Trevathan, Read e Schmidtke (2020) acerca da facilidade com que o material plástico do encapsulamento do sensor se liga aos sólidos dissolvidos no ambiente. Tal fato, em consequência, interfere na leitura do equipamento, dado que menos luz é transmitida e, igualmente, captada, quando em passagem através do material plástico da sonda. Ou seja, os valores da turbidez aferidos pelo sensor podem se apresentar significativamente mais elevados. Para evitar esse problema foi necessário, diariamente, remover o sensor do ambiente aquático e realizar a limpeza de forma manual, removendo a sujeira da parte do encapsulamento por onde passa o feixe de luz emitido pelo sensor.

Outro ponto de discussão é o da configuração do ambiente. Foram obtidos, através do Departamento de Pesca e Aquicultura (DPAq) da UFRPE, um tanque miniaturizado (para uso de cerca de 50 litros da sua capacidade), aeradores e material orgânico (composto de ração para peixes) para simular um ambiente de criação sem a presença de animais. O material orgânico disposto na água em

intervalos regulares (cerca de duas vezes por dia), foi capaz de propiciar mudanças sensíveis nos valores da turbidez, as quais foram captadas pelo sensor.

O Gráfico 2 apresenta o sensoriamento da turbidez logo após procedimento de sifonagem (retirada do excesso de matéria orgânica retida no tanque), com queda na turbidez apontada pelas curvas de calibração configuradas no sensor.

Gráfico 2 – Curvas de sensoriamento da turbidez.



Fonte: Autor (captura da plataforma *dojot*).

No fim do experimento, para a validação da pesquisa, as leituras do sensor de turbidez foram avaliadas por intermédio do turbidímetro de bancada *ORBECO-HELLIGE* (modelo 966) que, em sua leitura, informou o valor de 3.5 NTU. As leituras retornadas por cada variável do sensor (i.e., cada curva calculada pelo equipamento) no instante da leitura do turbidímetro são informadas no Quadro 3.

Quadro 3 – Valores calculados pelas curvas de calibração do sensor no instante da aferição do turbidímetro ORBECO-HELLIGE.

Variáveis do sensor	Valor aferido
1ª curva (NTU1_1)	15.612
2ª curva (NTU1_2)	10
3ª curva (NTU2_1)	5.023
4ª curva (NTU2_2)	4.437
5ª curva (NTUAli)	121.085

Fonte: Autor.

Observa-se que os valores das quatro primeiras curvas, em especial os da 3ª e 4ª curvas, calculadas a partir das funções discutidas na Metodologia e obtidas por regressões quadráticas (com R^2 mais próximo de 1), estiveram mais próximos da leitura aferida pelo equipamento padrão, com uma diferença relativamente pequena. Contudo, apesar da proximidade neste instante, com o equipamento, há necessidade de avaliação por um maior tempo para verificação da sua acurácia e em razão de obter a validação das curvas encontradas a partir do NaCl para o sensor de turbidez.

5. Considerações finais

Pode-se afirmar que o sistema como um todo se comportou de maneira satisfatória, indicando as variações da turbidez da água nos momentos em que esta foi alterada por influências externas, realizadas artificialmente para a avaliação do sistema. Com respeito à calibração do sensor em comparação aos equipamentos de bancada, no momento da verificação com o dispositivo padrão, o turbidímetro, os resultados estiveram próximos do seu valor determinado. Analisando o sistema, avalia-se que a sua aplicação é concebível em ambientes que demandem o monitoramento constante da turbidez da água, observando: a matéria em dissolução e acúmulo na água; o grau de precisão exigido do sensor e a faixa recomendada para o ambiente; a presença de dispositivos de conexão para o envio dos dados do sensor para a plataforma de visualização, além do fornecimento estável de energia;

e a natureza da criação.

Com respeito ao tipo da matéria em suspensão na água, é importante levar em conta que o encapsulamento original do sensor pode se ligar facilmente às partículas presentes no meio e, a depender delas, surge a necessidade da limpeza regular do equipamento. Uma solução para contornar esse problema é adotar um material diverso ao empregado originalmente para o sensor, como também para a sua vedação e proteção da incidência de luz externa. Trabalhos futuros podem ser capazes de realizar essa empresa e avaliar a aderência de sujeira ao material utilizado.

A turbidez, por meio do módulo sensor “TS-300B”, é calculada a partir do grau de intensidade de luz que sai do emissor e chega ao fotorreceptor, de modo que os dados aferidos foram enviados a uma placa controladora, *Arduino*, a qual detém um conversor ADC (Conversor Analógico-Digital) com resolução de 10 bits, em um valor na faixa de resolução do seu ADC (no caso da *Arduino*, um valor de 0 a 1023) para, em seguida, ser mapeado em um valor de tensão (de 0 a 5V). A precisão do sensor está limitada ao intervalo da saída analógica da placa *Arduino* (0 a 1023), de sorte que a adoção de uma placa com uma resolução maior permite aumentar a acurácia de leitura do equipamento de medição. Como cada aplicação exige um grau de precisão específico e possui suas respectivas faixas adequadas de turbidez, a escolha de dispositivos mais apropriados dependerá, portanto, da finalidade do sistema.

No caso da presente pesquisa, o envio dos dados foi realizado utilizando *Wi-Fi*, o que pode ser inviável em outros cenários. A depender destes, estudos posteriores podem abordar o uso da tecnologia *GPRS* (padrão de comunicação para dispositivos móveis), *Bluetooth*, *Lora*, ou até mesmo o uso de armazenamento local de dados em cartões de memória.

Em trabalhos futuros, adotando as medidas necessárias, tenciona-se manter o sistema em operação dentro de ambientes de aquicultura e, principalmente, de criação intensiva, com altas taxas de organismos por metro cúbico de água. Desta forma será possível visualizar a sua resistência ao meio e a necessidade de investimentos subsequentes em termos de isolamento do sensor, reforço na vedação, melhora na calibração, disposição do circuito com relação aos tanques, conectividade e controle das variáveis do sistema pelo usuário final.

Referências

ABCC — ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CRIADORES DE CAMARÃO. APOSTILA TÉCNICA DE BOAS PRÁTICAS DE MANEJO PARA CAPACITAÇÃO DE PEQUENOS PRODUTORES DE CAMARÃO, ENVOLVENDO: 1 — CULTIVO DO *Litopenaeus vannamei* EM BERÇÁRIOS PRIMÁRIOS, SECUNDÁRIOS E CERCOS; 2 — CULTIVO DO *Litopenaeus vannamei* EM VIVEIROS DE ENGORDA; 3 — BIOSSEGURANÇA PARA FAZENDAS DE CRIAÇÃO DE CAMARÕES. Natal: ABCC, 2010.

ABCC — ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CRIADORES DE CAMARÃO. Produção Brasileira de Camarão Marinho Cultivado. Associação Brasileira de Criadores de Camarão, out. de 2020. Disponível em: <<https://abccam.com.br/2020/10/producao-brasileira-de-camarao-marinho-cultivado/>>. Acesso em: 04 abr. de 2021.

AIRET STORE. TS-300B Turbidity sensor environmental monitoring sewage turbidity value detection module water quality sensor. Disponível em: https://pt.aliexpress.com/item/1005002911663549.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.303f238cEJ12sA&algo_pvid=6f42569b-f1b3-4fc7-8d1b-c650cb39c16d&algo_exp_id=6f42569b-f1b3-4fc7-8d1b-c650cb39c16d-12. Acesso em: 21 jul. 2021.

ARANA OBRA, Javier. Analizador de agua conectado a IOT. 2020.

ASUERO, Agustin Garcia; SAYAGO, Ana; GONZALEZ, A. G. The correlation coefficient: An overview. *Critical reviews in analytical chemistry*, v. 36, n. 1, p. 41-59, 2006.

CHANDRAPPA, S. et al. Design and development of IoT device to measure quality of water. *International Journal of Modern Education and Computer Science*, v. 9, n. 4, p. 50, 2017.

DEVORE, Jay L. *Probability and Statistics for Engineering and the Sciences*. Cengage learning, 2011.

DFROBOT. Turbidity Sensor SKU SEN0189, [S.l]. <https://wiki.dfrobot.com/Turbidity_sensor_SKU__SEN0189>. Acesso em: 09 mar. 2021.

DIAS, Caroline de Boer. DESENVOLVIMENTO E CALIBRAÇÃO DE TURBIDÍMETRO DE BAIXO CUSTO. In: XXIII SBRH - SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 23., 2019, Foz do Iguaçu. XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Foz do Iguaçu: ABRHidro, 2019. Disponível em: <https://anais.abrhydro.org.br/job.php?Job=5790>. Acesso em: 09 mar. 2021.

EPIK ELECTRONICS. TS 300B 3.3-5v Turbidity Transducer Water Turbidity Module Mixed Water Detection Module Turbidity Sensor Module Liquid For Arduino. <<https://epikelectronics.com/product/ts-300b-3-3-5v-turbidity-transducer-water-turbidity-module-mixed-water-detection-module-turbidity-sensor-module-liquid-for-arduino>>.

Acesso em: 23 ago. 2021.

FONDRIEST ENVIRONMENTAL INC. "Measuring Turbidity, TSS, and Water Clarity." *Fundamentals of Environmental Measurements*. 5 Sep. 2014. Web. <<https://www.fondriest.com/environmental-measurements/measurements/measuring-water-quality/turbidity-sensors-meters-and-methods/>>. Acesso em 31 de mar. 2021.

HELAL, Alan Afif et al. EstAcqua: Proposta de solução integrada de Hardware, Software e Internet das Coisas para monitoramento ambiental. In: *Seminário Integrado de Software e Hardware (SEMISH)*. SBC, 2018.

KASNIR, Muhammad; HARLINA, Harlina; ROSMIATI, Rosmiati. Water quality parameter analysis for the feasibility of shrimp culture in Takalar Regency, Indonesia. 2014.

KITCHENER, Ben GB; WAINWRIGHT, John; PARSONS, Anthony J. A review of the principles of turbidity measurement. *Progress in Physical Geography*, v. 41, n. 5, p. 620-642, 2017.

MUCHTAR, Elvayandri; SANJAYA, Edwin; HARIADI, Farkhad Ihsan. Human machine interface on e-Shrimp as smart control system for whiteleg shrimp pond. In: *2017 International Symposium on Electronics and Smart Devices (ISESD)*. IEEE, 2017. p. 24-29.

MÜNZBERG, Marvin et al. Limitations of turbidity process probes and formazine as their calibration standard. *Analytical and bioanalytical chemistry*, v. 409, n. 3, p. 719-728, 2017.

PLANETCALC LLC (org.). Aproximação de função com análise de regressão. Disponível em: <https://pt.planetcalc.com/5992/>. Acesso em: 02 abr. 2021.

PROBOTS. Turbidity Sensor Module for Water Quality Test TS-300B. <<https://www.probots.co.in/ts-300b-turbidity-sensor-module-mixed-water-detection-module-water-quality-test-turbidity-transducer-dc-5v.html>>. Acesso em: 23 ago. 2021.

RACEY, Jonathan D. *Development of Novel Turbidity Calibration Standards and Methodologies Using Appropriate Technology*. 2019. Tese de Doutorado. Purdue University Graduate School.

ROHATGI, Ankit. WebPlotDigitizer: web based tool to extract data from plots, images and maps. Versão 4.4. Pacifica, Califórnia, EUA, nov. de 2020. Disponível em: <<https://automeris.io/WebPlotDigitizer/>>. Acesso em: 31 mar. 2021.

SENAR – Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. *Camarão marinho: preparação do viveiro, povoamento, manejo e despesca / Serviço Nacional de Aprendizagem Rural (SENAR)*. — 1.ed. Brasília: SENAR, 2017.

SETIYAWAN, Andrik; HIKMAH, Nuzul; MARZUKI, Imam. Prototype Alat Untuk Mengukur pH, Suhu, Dan Kadar Kekeruhan Air Tambak Untuk Budidaya Udang Vaname (*Litopenaeus Vannamei*) Menggunakan Arduino Uno. *Jurnal Informatika*

Upgris, v. 6, n. 2, 2020. SHETTY, Shreema; PAI, Radhika M.; PAI, Manohara MM. Design and implementation of aquaculture resource planning using underwater sensor wireless network. Cogent Engineering, v. 5, n. 1, p. 1542576, 2018.

SOUSA, Daniela et al. A platform of unmanned surface vehicle swarms for real time monitoring in aquaculture environments. Sensors, v. 19, n. 21, p. 4695, 2019.

STEWART, James. Cálculo. 6a edição. São Paulo: Cengage Learning, p. v1, 2011.

TREVATHAN, Jarrod; JOHNSTONE, Ron. Smart environmental monitoring and assessment technologies (SEMAT) — A new paradigm for low-cost, remote aquatic environmental monitoring. Sensors, v. 18, n. 7, p. 2248, 2018.

TREVATHAN, Jarrod; READ, Wayne; SCHMIDTKE, Simon. Towards the Development of an Affordable and Practical Light Attenuation Turbidity Sensor for Remote Near Real-Time Aquatic Monitoring. Sensors, v. 20, n. 7, p. 1993, 2020.

TS-300B. "Turbidity sensor environmental monitoring sewage turbidity value detection module water quality sensor". Recuperado de https://pt.aliexpress.com/item/1005002911663549.html?spm=a2gQo.productlist.0.0.303f238cEJ12sA&algo_pvid=6f42569b-f1b3-4fc7-8d1bc650cb39c16d&algo_cxp_id=6f42569bf1b3-4fc7-8d1b-c650cb39c16d-12. Autor.

WANG, Youchao et al. Low-cost turbidity sensor for low-power wireless monitoring of fresh-water courses. IEEE Sensors Journal, v. 18, n. 11, p. 4689-4696, 2018.

ZIEGLER, Andrew C. Issues related to use of turbidity measurements as a surrogate for suspended sediment. In: Turbidity and other sediment surrogates workshop. 2002.