

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS
CAMPUS PALMAS
CURSO SUPERIOR BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRONÔMICA**

NADJA HERRANA MOURA SILVA

**AVALIAÇÃO DA CONFIABILIDADE DE SENSORES DE BAIXO CUSTO PARA
MONITORAMENTO REMOTO: UMA ANÁLISE COMPARATIVA COM
SENSORES DE REFERÊNCIA**

**PALMAS - TO
2025**

NADJA HERRANA MOURA SILVA

**AVALIAÇÃO DA CONFIABILIDADE DE SENSORES DE BAIXO CUSTO PARA
MONITORAMENTO REMOTO: UMA ANÁLISE COMPARATIVA COM
SENSORES DE REFERÊNCIA E TESTES QUÍMICOS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Coordenação do Curso de Engenharia
Agrônômica do Instituto Federal do Tocantins
Campus Palmas, como exigência à obtenção do
grau de Bacharel em Engenharia Agrônômica.

Orientador Prof. Dr. Antônio Carlos Silveira
Gonçalves

Coorientador: Prof. Dr. Alysso Soares da
Rocha

PALMAS-TO
2025

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins**

M929a Moura Silvsa, Nadja Horrana
AVALIAÇÃO DA CONFIABILIDADE DE SENSORS DE BAIXO
CUSTO PARA MONITORAMENTO REMOTO : UMA ANÁLISE
COMPARATIVA COM SENSORES DE REFERÊNCIA / Nadja Horrana
Moura Silvsa. – Palmas, TO, 2025.
54 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) –
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus
Palmas, Palmas, TO, 2025.

Orientador: Dr. Antonio Carlos Silveira Gonçalves
Coorientador: Dr. Alysson Soares da Rocha

1. Sensores de Baixo Custo. 2. Piscicultura. 3. Pequeno Produtor. I.
Silveira Gonçalves, Antonio Carlos. II. Soares da Rocha, Alysson. III. Título.

CDD 630

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

NADJA HERRANA MOURA SILVA

**AVALIAÇÃO DA CONFIABILIDADE DE SENSORES DE BAIXO CUSTO PARA
MONITORAMENTO REMOTO: UMA ANÁLISE COMPARATIVA COM
SENSORES DE REFERÊNCIA**

Trabalho de conclusão de curso, apresentado à
Coordenação do curso de Engenharia
Agrônômica do Instituto Federal do Tocantins
Campus Palmas, como exigência à obtenção do
grau em Engenharia Agrônômica.

Aprovado em: 04 de agosto de 2025

BANCA AVALIADORA

Prof. Dr. Antônio Carlos Silveira Gonçalves
IFTO - Campus Palmas - TO.

Prof. Dr. Clauber Rosanova
IFTO - Campus Palmas - TO.

Prof. Dr. Alysson Soares da Rocha
IFTO - Campus Palmas - TO.

Palmas - TO, 04 de agosto de 2025.



Documento assinado eletronicamente por Antonio Carlos Silveira Goncalves, Servidor, em 04/08/2025, às 16:05, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

https://sei.iftto.edu.br/sei/controlador.php?acao=documento_imprimir_web&acao_origem=arvore_visualizar&id_documento=3097016&infra_siste...



Documento assinado eletronicamente por Alysson Soares da Rocha, Servidor, em 04/08/2025, às 16:05, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por Clauber Rosanova, Servidor, em 04/08/2025, às 16:05, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.iftto.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador 2852632 e o código CRC 3F7C47CE.



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS

Campus Palmas 310 Sul, Av. LO 5, s/n, esquina com a Avenida NS 10 - Plano Diretor Sul — CEP 77021-090 Palmas/TO - portal.iftto.edu.br — reitoria@iftto.edu.br

Referência: Processo nº 23236.015787/2025-11

SEI nº 2852632

A Deus e à minha família: minha mãe Maria Antonildes Gladyes Moura Silva, meu pai Adalton Pereira Silva, minhas tias Ângela, Nildes, Oneide, Jucilene e Waldise, e a Douglas Paiva Nobre de Araújo, que esteve ao meu lado em toda trajetória.

AGRADECIMENTOS

A Deus, toda honra e toda glória. A Ele agradeço pela força, sabedoria e sustento em cada etapa desta jornada especialmente nos momentos mais desafiadores. Sem Sua graça e misericórdia, nada disso teria sido possível.

À minha família, pelo amor incondicional, pelo apoio constante e por acreditarem em mim, mesmo quando eu mesma duvidei.

À minha mãe, Maria Antonildes Gladyes Moura Silva, cuja voz de encorajamento me alcançava mesmo à distância, renovando minhas forças.

Ao meu pai, Adalton Pereira Silva, às minhas tias Ângela, Nildes, Oneide, Jucilene, Ionara e Waldise, e ao meu padrasto Paulo Jr, por todo carinho, suporte e pelos incontáveis gestos de cuidado.

Ao Douglas Paiva Nobre de Araújo, companheiro e pai dos meus filhos, pelo apoio nos momentos mais importantes desta caminhada e por sua presença em tantas etapas dessa história.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Antônio Carlos Silveira Gonçalves, pela paciência, dedicação e generosidade em cada fase deste trabalho. Sua orientação foi essencial para a concretização deste projeto.

Aos professores do curso de Engenharia Agrônômica, que com competência e dedicação contribuíram significativamente para minha formação, compartilhando conhecimentos e experiências que levarei comigo por toda a vida.

Às amigas Istefhany, Geyza, Fernanda, Artenisia e Leyde Dayane, pela parceria, pelas trocas sinceras e pelo companheirismo que tornaram essa jornada mais leve e significativa.

E a todos que, de alguma forma, fizeram parte dessa conquista: minha mais profunda e sincera gratidão.

“Porque dele, e por ele, e para ele são todas as coisas; glória, pois, a ele eternamente. Amém.”

Romanos 11:36

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar a aplicabilidade de sensores de baixo custo no monitoramento da qualidade da água em sistemas de piscicultura familiar, por meio da comparação entre dados obtidos com sensores comerciais de referência e testes químicos. Foram analisados os parâmetros de oxigênio dissolvido (OD), pH, temperatura e total de sólidos dissolvidos (TDS), em diferentes contextos experimentais, incluindo testes em tanques e um período de imersão contínua de 24 horas. As medições foram submetidas à análise estatística com o auxílio dos softwares SISVAR e Jamovi, utilizando métodos como análise de variância (ANOVA) e regressão linear. Os resultados demonstraram uma boa correspondência entre os sensores avaliados, evidenciando o potencial de sensores de menor custo como alternativas viáveis para aplicações em sistemas automatizados de monitoramento baseados em Internet das Coisas (IoT), especialmente no contexto de pisciculturas de pequena escala e produções familiares.

Palavras-chave: Internet das Coisas. Monitoramento automatizado. Piscicultura. Qualidade da água. Sensores de baixo custo.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the applicability of low-cost sensors in monitoring water quality in small-scale aquaculture systems, by comparing data obtained using commercial reference sensors and chemical testing kits. The analyzed parameters included dissolved oxygen (DO), pH, temperature, and total dissolved solids (TDS), under different experimental conditions, including tank tests and a continuous 24-hour immersion period. The measurements were statistically analyzed using SISVAR and Jamovi software, through methods such as analysis of variance (ANOVA) and linear regression. The results showed good agreement among the sensors evaluated, highlighting the potential of low-cost devices as viable alternatives for use in automated monitoring systems based on the Internet of Things (IoT), especially in family-scale fish farming.

Keywords: Aquaculture. Automated monitoring. Internet of Things. Low-cost sensors. water quality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização do Campo de estudo; IFTO-Instituto Federal do Tocantins Campus Palmas.....	21
Figura 2 - Montagem do sistema de teste e calibragem dos sensores	23
Figura 3 - Solução tampão para teste seguindo indicação do fabricante	23
Figura 4 - IDE Arduino, calibração do pH	24
Figura 5 - Sensor de pH Arduino + Módulo de Leitura	25
Figura 6 - Sensor de temperatura DS18B20	25
Figura 7 - Kit Sensor de Oxigênio Dissolvido e Temperatura	26
Figura 8 - Sensor de turbidez.....	27
Figura 9 - Sensor de TDS modelo KS0429	28
Figura 10 - Medidor Multiparâmetro Ak88.....	28
Figura 11 - ESP8266 NodeMCU	29
Figura 12 - Arduino Uno	29
Figura 13 - Jumpers	30
Figura 14 - Placa de teste.....	30
Figura 15 - Fonte 5v.	31
Figura 16 - Adaptação de um potenciômetro 10k Ω	32
Figura 17 - Módulos de Leitura do Sensor de pH BNC PH4502C	33
Figura 18 – Análise de pH de sensores de baixo custo e de referência.....	35
Figura 19 - Gráfico de dispersão da condutividade elétrica x TDS.....	36

Figura 20 - Gráfico Regressão linear entre condutividade elétrica (AK88) e TDS (sensor de baixo custo).	37
Figura 21 – Gráficos de Médias de oxigênio dissolvido (OD) obtidas pelos sensores AK88 e de baixo custo.....	38
Figura 22 – Gráficos, medidas de temperaturas obtidas pelos sensores AK88 e de baixo custo.....	40
Figura 23 – Teste Colorimétrico de pH	41
Figura 24 - Médias de oxigênio dissolvido (OD) obtidas pelos sensores AK88 e de baixo custo.....	43
Figura 25 - Médias de temperaturas obtidas pelos sensores AK88 e de baixo custo ..	45

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1	A piscicultura e os desafios do pequeno produtor no Brasil.....	15
2.2	Qualidade da água na piscicultura.....	16
2.3	O uso de tecnologias na aquicultura	17
2.4	Sensores aplicados ao monitoramento da água.....	18
2.5	Estudos comparativos sobre sensores de baixo custo	19
3	MATERIAIS E MÉTODOS	19
3.1	Cenário 1 – Imersão intermitente (simulação de braço robótico).....	21
3.2	Cenário 2 – Imersão contínua.....	22
3.3	Calibração do sensor de pH.....	22
3.4	SENSORES	24
3.4.1	Sensor de pH para Arduino + Módulo de Leitura BNC PH4502C	24
3.4.2	Sensor de Temperatura DS18B20	25
3.4.3	Sensor de Oxigênio Dissolvido	26
3.4.4	Módulo Sensor de Turbidez ST100.....	26
3.4.5	Sensor de Sólidos Totais Dissolvidos (TDS)	27
3.4.6	Medidor Multiparâmetro Completo Ak88.....	28
3.4.7	ESP8266 NodeMCU.....	28
3.4.8	Arduino Uno	29
3.4.9	Jumpers.....	30
3.4.10	Protoboard	30
3.4.11	Fonte de Tensão 5v.....	30
3.5	TABELA DE VALORES.....	31
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	31

4.1	Testes preliminares, calibração do sensor de pH e adaptações técnicas	31
4.2	Resultados e Discussão dos Testes Experimentais com Sensores de Baixo Custo	33
4.2.1	Desempenho e Estabilidade dos Sensores	33
4.2.2	Testes Químicos	40
5	TESTES DE IMERSÃO TOTAL	41
5.1	Oxigênio Dissolvido	41
5.2	TDS	42
5.3	OD (Oxigênio Dissolvido)	43
5.4	Temperatura	44
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	45
7	ANEXO A – Especificações do aparelho ak88 marca AKSO	47
	REFERÊNCIAS	48

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso essencial para a manutenção da vida no planeta, cobrindo aproximadamente 71% da superfície terrestre e servindo como habitat natural para milhões de espécies aquáticas. O Brasil detém cerca de 12% da água doce disponível no mundo, sendo considerado o país com maior reserva hídrica global. No entanto, essa abundância aparente pode gerar uma falsa sensação de inesgotabilidade. Segundo Alexandre Lima, coordenador de Recursos Hídricos da Agência Nacional de Águas (ANA), em declaração feita em 2017, a negligência na gestão dos recursos hídricos no Brasil está relacionada justamente à percepção equivocada de que “há água em excesso”.

A qualidade da água é um dos fatores mais relevantes para o sucesso das atividades aquícolas. A contaminação causada por efluentes impacta negativamente a vida aquática, provocando desequilíbrios que podem levar à morte da biodiversidade local e à eutrofização dos corpos hídricos (TUNDISI, 2003; CARVALHO JUNIOR, 2011; GADELHA et al., 2022). Esse fenômeno está associado a diversas atividades antrópicas, incluindo a aquicultura, que, quando mal manejada, contribui significativamente para o aumento do desequilíbrio ecológico (BASTIAN, 1991). A deposição de resíduos oriundos das excretas dos peixes ou de restos de ração promove a liberação de nutrientes como fósforo, nitrogênio e amônia tóxica, favorecendo o crescimento excessivo de algas e cianobactérias, que alteram os parâmetros físico-químicos da água (SILVA, 2003).

Entre os principais parâmetros que determinam a qualidade da água em sistemas aquícolas estão: temperatura, pH, oxigênio dissolvido, amônia, nitrito, turbidez, alcalinidade e sólidos totais dissolvidos. Esses fatores influenciam diretamente o metabolismo, a saúde, o comportamento alimentar e o crescimento dos organismos aquáticos. As mudanças sazonais promovem alterações na temperatura da água, o que acarreta oscilações que afetam não apenas o comportamento dos animais, mas também as demais variáveis do sistema (MENDES et al., 2014). Sendo assim, o monitoramento constante desses parâmetros é essencial para o bom desenvolvimento da vida nos criatórios.

Nos últimos anos, a crescente preocupação com a qualidade da água em sistemas de piscicultura tem impulsionado diversos avanços tecnológicos, como o desenvolvimento de rações balanceadas, tanques com materiais de última geração, sistemas de recirculação de água

(RAS), biorreatores com bioflocos (BFT), comedouros automatizados e, principalmente, tecnologias para o monitoramento remoto da qualidade da água. Este último constitui o foco central deste trabalho, que tem como objetivo avaliar a confiabilidade de sensores de baixo custo, visando à implementação de um sistema acessível para o monitoramento em tempo real de variáveis fundamentais ao bem-estar animal e à produtividade em propriedades familiares de pequena escala, promovendo a otimização da atividade aquícola.

Nesse contexto, surge o conceito de Aquicultura 4.0, uma vertente da agricultura digital inspirada nos princípios da Indústria 4.0, que integra tecnologias como Internet das Coisas (IoT), Big Data, inteligência artificial e automação para transformar os sistemas produtivos aquícolas. A Aquicultura 4.0 propõe um modelo de produção mais eficiente, sustentável e inteligente, permitindo o monitoramento contínuo das variáveis ambientais, a tomada de decisões em tempo real e o uso racional de insumos. Essa abordagem promove não apenas a melhoria da produtividade, mas também o bem-estar animal e a preservação ambiental, alinhando-se às demandas atuais por sustentabilidade e inovação no campo (NUTER, 2024).

Apesar desses avanços, muitos dos recursos tecnológicos disponíveis ainda são inacessíveis aos pequenos produtores, seja pelo alto custo de aquisição ou pela complexidade na operação e manutenção dos equipamentos. Essa limitação tecnológica compromete o desempenho produtivo e dificulta a adoção de boas práticas de manejo, prejudicando a sustentabilidade dos sistemas familiares de produção aquícola.

O uso da Internet das Coisas (IoT) tem ganhado espaço nos setores da agropecuária mundial, simplificando processos, reduzindo custos e impactando diretamente no preço final ao consumidor. Essa transformação tecnológica tem gerado novas demandas e ampliado a capacidade produtiva, ao mesmo tempo em que promove uma produção de alimentos mais sustentável. Monitoramentos realizados de forma remota contribuem para manter o equilíbrio dos ecossistemas e otimizam o manejo das culturas e criações.

No entanto, a adoção dessas tecnologias ainda não é amplamente viável para todos os agentes envolvidos no setor produtivo. O alto custo de equipamentos mais avançados dificulta o acesso por parte de pequenos produtores. Embora o mercado de sensores de baixo custo esteja em expansão, ainda existem limitações significativas, como a escassez de sensores acessíveis e confiáveis para variáveis fundamentais como amônia, nitrato e nitrito. Essa lacuna tecnológica acentua as desigualdades entre grandes e pequenos produtores, influenciando diretamente na

escalabilidade e sustentabilidade da produção dentro de seus respectivos contextos socioeconômicos.

Diante do exposto, faz-se necessário aprofundar a discussão sobre os principais aspectos da qualidade da água, os desafios enfrentados pela piscicultura familiar e as tecnologias emergentes voltadas ao monitoramento e à automação da produção aquícola, com ênfase no uso de sensores de baixo custo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A piscicultura e os desafios do pequeno produtor no Brasil

Em 2024, o Brasil superou a média nacional em produção de peixes cultivados, alcançando 968 mil toneladas. A meta até 2040 é alcançar a liderança mundial na atividade piscícola (PEIXE BR, 2024). Esse aumento está diretamente relacionado ao crescimento contínuo do consumo interno, que, segundo dados da Associação Brasileira da Piscicultura, registrou elevação de 53% na última década tendência já observada desde 2014 pela FAO (2014). A tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) tem se destacado como a principal espécie cultivada no país. No entanto, algumas iniciativas têm buscado fomentar a criação de peixes nativos, visando diversificar a produção aquícola nacional (DIAS et al., 2016).

Os pequenos produtores representam aproximadamente 86% dos piscicultores no Brasil (PEIXE BR, 2024). Contudo, enfrentam diversos entraves, como a limitação no acesso a conhecimento técnico, fator que impacta diretamente o desenvolvimento adequado dos organismos aquáticos (FERREIRA et al., 2012). A adoção restrita de tecnologias, os elevados custos com ração, e as dificuldades no controle da qualidade da água diretamente associada à quantidade e qualidade da ração ofertada são obstáculos recorrentes, podendo resultar em impactos ambientais negativos, como a degradação dos corpos hídricos (MAULINI et al., 2021).

Além disso, a precariedade da infraestrutura e a escassez de mão de obra especializada são fatores que comprometem a viabilidade técnica e econômica da atividade (LIMA et al., 2018). Enquanto grandes produtores operam com sistemas tecnificados que otimizam tempo e recursos, os pequenos produtores ainda realizam grande parte do manejo de forma manual, o que reduz a eficiência e eleva os custos operacionais.

A informalidade predominante no setor também contribui para o desestímulo e abandono da atividade por parte de pequenos empreendedores, mesmo diante do potencial promissor da piscicultura no Brasil. Nesse contexto, torna-se essencial a implementação de políticas públicas voltadas à capacitação técnica, à regularização produtiva e à inserção de tecnologias acessíveis, como estratégias para fortalecer a segurança alimentar e garantir a permanência dos pequenos produtores na cadeia produtiva aquícola (MPA, 2012; XAVIER PEDROZA FILHO; CASTILHO, 2020).

2.2 Qualidade da água na piscicultura

A qualidade da água é um dos principais fatores que influenciam o sucesso da piscicultura, afetando diretamente o crescimento, a saúde e a taxa de conversão alimentar dos peixes cultivados (BACCARIN, 2002; KUBITZA, 2003; MENEZES et al 2024; CAVALCANTE, 2023). Parâmetros como oxigênio dissolvido, pH, temperatura, amônia, nitrito, alcalinidade e transparência devem ser monitorados e mantidos dentro de faixas adequadas para cada espécie (LIMA et al., 2013).

A inabilidade técnica dos produtores em identificar e corrigir problemas relacionados à qualidade da água é um fator limitante que compromete os resultados zootécnicos. Situações como baixa taxa de conversão alimentar ou surtos de doenças que podem levar à mortalidade dos organismos cultivados resultam em perdas financeiras significativas e até mesmo no abandono da atividade (MELO et al., 2019). Tais problemas poderiam ser mitigados com assistência técnica contínua e capacitação específica.

Atualmente, o uso de kits de monitoramento da qualidade da água e sondas multiparâmetros é amplamente difundido em sistemas comerciais. Esses instrumentos possibilitam o acompanhamento em tempo real dos parâmetros críticos da água, como pH, temperatura, oxigênio dissolvido e amônia, os quais variam conforme a espécie cultivada e as condições ambientais (HERMES et al., 2004, KUROSKI, 2022). No entanto, pequenos produtores frequentemente enfrentam limitações relacionadas à mão de obra e ao tempo disponível, uma vez que, em propriedades familiares, diversas outras atividades também demandam atenção. Nesse cenário, torna-se evidente a importância de tecnologias acessíveis e automatizadas que otimizem o manejo aquícola sem comprometer a rotina produtiva do pequeno agricultor.

Nesse cenário, a tecnologia surge como uma aliada estratégica. A utilização de sensores de baixo custo conectados à Internet das Coisas (IoT) possibilita o monitoramento em tempo real dos parâmetros da água, oferecendo dados precisos e contínuos. Essa inovação contribui para a tomada de decisões mais rápidas e assertivas, promovendo maior controle sanitário e melhor desempenho dos cultivos aquícolas (SILVA et al., 2021; EMBRAPA, 2020; CAMPAGNOLI DE OLIVEIRA FILHO, 2025). Essa abordagem tecnológica tem sido denominada "Aquicultura 4.0", pois integra automação, conectividade e inteligência na gestão da produção.

2.3 O uso de tecnologias na aquicultura

A atividade agrícola é, sem dúvida, uma das práticas mais antigas da humanidade. A produção de alimentos sempre foi uma necessidade essencial ao longo da história, sendo inicialmente realizada de forma manual, sem recursos tecnológicos ou previsibilidade, mas em constante adaptação. Com o avanço das civilizações e o crescimento populacional, a demanda por alimentos impulsionou inovações nos diversos setores produtivos, dando início a uma revolução tecnológica no campo.

Na aquicultura, esse processo também se manifesta de forma clara. O crescimento do setor e demanda por maior produtividade tem promovido um alto grau de tecnificação (KUMAR et al., 2018). A necessidade de automação e de monitoramento eficiente dos parâmetros relacionados aos criatórios de peixes e outros organismos aquáticos impulsionou o desenvolvimento de equipamentos específicos para atender às exigências dessa atividade.

Comedouros automáticos, sensores de qualidade da água e sistemas de monitoramento computacional são exemplos de tecnologias aplicadas em diversos países com o objetivo de otimizar a produção. O Brasil tem seguido essa tendência mundial: o uso da Internet das Coisas (IoT) e da Inteligência Artificial tem se tornado cada vez mais necessário nesse segmento, que está em constante expansão (SILVA et al., 2021; EMBRAPA, 2020).

A aquicultura de precisão tem avançado mesmo em ambientes com baixa visibilidade devido à turbidez da água, como tanques escavados, mares, rios ou lagos. Essa limitação estimula o desenvolvimento de tecnologias capazes de gerar dados mais precisos sobre o comportamento dos animais e a qualidade da água. Inteligências artificiais vêm sendo treinadas para identificar padrões comportamentais dos organismos aquáticos, oferecendo informações

técnicas que auxiliam na otimização do manejo (CAMPAGNOLI DE OLIVEIRA FILHO, 2025).

Esse cenário compõe o conceito de Aquicultura 4.0, que busca aumentar a produtividade, melhorar a eficiência e garantir a sustentabilidade por meio da integração de ferramentas digitais como sensores, inteligência artificial e análise de dados. A adoção dessas tecnologias representa um avanço significativo na tomada de decisões estratégicas e no aprimoramento da gestão aquícola (NUTER, 2021).

2.4 Sensores aplicados ao monitoramento da água

O monitoramento da qualidade da água é essencial para o sucesso da piscicultura, uma vez que parâmetros como oxigênio dissolvido, temperatura, pH, amônia, nitrito, condutividade elétrica e turbidez impactam diretamente a saúde, o crescimento e o bem-estar dos peixes. Tradicionalmente, essas medições são realizadas com o auxílio de sondas multiparâmetros ou testes químicos, de forma esporádica, sendo limitadas pela disponibilidade de tempo do pequeno produtor, que muitas vezes desempenha outras funções no cotidiano da propriedade ou empreendimento.

O uso de sensores que empregam tecnologia de Internet das Coisas (IoT) tem se mostrado indispensável tanto para grandes quanto para pequenos produtores, pois reduz significativamente o tempo gasto com o manejo e permite respostas mais rápidas às variações ambientais. A adoção da tecnologia representa um avanço necessário para a aquicultura moderna (DOS SANTOS et al,2019; EMBRAPA, 2020; SILVA et al., 2021).

As sondas multiparâmetros são dispositivos capazes de realizar, de forma contínua e simultânea, a leitura de diversas variáveis físico-químicas da água. Esses dados são fundamentais para o controle da qualidade em tempo real, permitindo ajustes imediatos e prevenindo situações de estresse ou mortalidade dos organismos cultivados. No entanto, esses sensores, na prática cotidiana, costumam ser utilizados manualmente pelo tratador algumas vezes ao dia, sem conexão com a nuvem ou aplicativos que enviem dados em tempo real. Essa limitação representa uma desvantagem, já que a qualidade da água pode sofrer diversas alterações ao longo do dia por exemplo, uma pequena variação na temperatura pode afetar diretamente outros parâmetros já medidos (ROLLA et al.1996; PETRUZELLA, 2014; CAMPAGNOLI DE OLIVEIRA FILHO, 2025).

O custo-benefício dos sensores comerciais ainda é elevado para produtores de menor escala. Em contrapartida, sensores de baixo custo podem mostrar eficiência satisfatória nas medições, especialmente quando integrados a sistemas automatizados com conectividade IoT. Além de demandarem menor mão de obra, esses sistemas permitem o acesso aos dados por meio de dispositivos móveis. Essas características tornam esses sensores especialmente vantajosos para a realidade da produção familiar (CHAVES et al., 2023).

2.5 Estudos comparativos sobre sensores de baixo custo

Sensores de baixo custo são dispositivos eletrônicos capazes de medir parâmetros físicos ou químicos com precisão aceitável, utilizando componentes acessíveis e tecnologias simplificadas. Esses sensores têm se destacado em projetos de automação e monitoramento ambiental, principalmente por seu valor reduzido e facilidade de implementação, tornando-se ideais para aplicações em contextos de recursos limitados, como na aquicultura familiar (FERNANDES et al., 2020).

Nesse contexto, Toigo (2022) desenvolveu um sistema de monitoramento da qualidade da água em tanques de aquicultura utilizando sensores de baixo custo, capazes de enviar automaticamente dados físicos e químicos para um sistema de monitoramento online. Segundo o autor, esses sensores apresentaram desempenho satisfatório e custo quatro vezes inferior ao de modelos de referência disponíveis no mercado, configurando-se como uma alternativa economicamente viável para o piscicultor familiar. Além disso, contribuíram para facilitar as rotinas de manejo e elevar a produtividade na piscicultura.

Tiwari et al. (2024), também propuseram um sistema de monitoramento da água em tanques de aquicultura, empregando sensores de baixo custo integrados a um Arduino Mega. Ao compararem os resultados obtidos com os de equipamentos tradicionais, identificaram margens de erro de apenas 0,9 % para pH, 1,2 % para temperatura e 1,9 % para turbidez. Os autores concluíram que o sistema é viável, confiável e possui um custo significativamente reduzido, estimado em aproximadamente R\$ 400,00.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A presente pesquisa foi desenvolvida com o intuito de avaliar a precisão e a estabilidade de sensores de baixo custo aplicados ao monitoramento da qualidade da água em sistemas de piscicultura familiar. Para isso, foi conduzido um experimento comparativo entre sensores

comerciais de referência, sensores eletrônicos de baixo custo e testes químicos pontuais, com foco nos parâmetros de pH, oxigênio dissolvido (OD), temperatura da água e sólidos totais dissolvidos (TDS).

Trata-se de uma pesquisa aplicada, com abordagem quantitativa e qualitativa, de natureza descritiva e experimental, uma vez que descreve o desempenho e a usabilidade de sensores de baixo custo em comparação a métodos tradicionais. O experimento será conduzido na área experimental de piscicultura e no Laboratório de Fisiologia Animal do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins *Campus* Palmas, localizado nas coordenadas geográficas 10°12'2.91" de latitude Sul e 48°18'38.95" de longitude Oeste (Figura 1). A escolha do local se deu pela infraestrutura adequada e pela disponibilidade de tanques e suporte técnico para os testes.

Serão utilizadas amostras de quatro tanques de polietileno com capacidade de 1.000 litros, cada um contendo 200 juvenis de tambatinga (*Colossoma macropomum* × *Piaractus brachypomus*), adquiridos ainda na fase de alevinos na piscicultura Hidrobios, situada a 10 km de Palmas - TO.

Figura 1 - Localização do Campo de estudo; IFTO-Instituto Federal do Tocantins *Campus* Palmas



Fonte: Autoria própria (2025).

A coleta de dados foi realizada com o objetivo de simular dois cenários distintos de uso dos sensores de baixo custo, buscando representar aplicações práticas na piscicultura automatizada. Esses dois modelos correspondem a diferentes formas de imersão dos sensores: uma intermitente (como simulação de braço robótico) e outra contínua (imersão permanente).

3.1 Cenário 1 – Imersão intermitente (simulação de braço robótico)

Neste modelo, os sensores de baixo custo foram submersos manualmente em intervalos regulares, simulando um sistema automatizado de imersão e retirada dos sensores. As coletas foram realizadas durante três dias consecutivos, entre os dias 18, 21 e 22 de julho de 2025, com sessões de aproximadamente 6 horas diárias e leituras realizadas a cada 20 minutos.

As medições obtidas pelos sensores de baixo custo foram imediatamente comparadas aos valores registrados por um sensor multiparâmetro comercial (AKSO - modelo AK88), considerado como sensor de referência, além da utilização pontual de testes químicos (fitas e

reagentes – marca Ocean Tech) para validação complementar. Este cenário permitiu avaliar a precisão pontual dos sensores, o tempo de estabilização das leituras e a repetibilidade dos dados ao longo do tempo, em condições estáticas e controladas de laboratório.

3.2 Cenário 2 – Imersão contínua

No segundo cenário, os sensores foram instalados de forma fixa nos tanques e permaneceram totalmente submersos por um período contínuo de 24 horas. As medições foram realizadas apenas duas vezes: a primeira, logo após a estabilização inicial dos sensores na água; e a segunda, ao final das 24 horas de imersão.

O objetivo foi simular uma aplicação de longa duração e avaliar aspectos como a estabilidade do sinal, a durabilidade dos sensores em contato contínuo com a água e o funcionamento adequado do sistema após um período prolongado de uso.

3.3 Calibração do sensor de pH

Para garantir a confiabilidade das leituras do sensor de pH, foi realizada a calibração utilizando soluções tampão padrão com valores conhecidos de pH: 4.00, 6.86 e 9.18. As medições de tensão (em volts) foram registradas por meio da leitura analógica do sinal amplificado proveniente da sonda de pH conectada a um conversor analógico-digital porta A0 da placa ESP8266.

Os valores de tensão correspondentes às soluções foram utilizados para construir uma curva de calibração, com base em uma regressão linear simples, resultando na seguinte equação:

$$\text{pH} = -8,12 \cdot V + 24,40$$

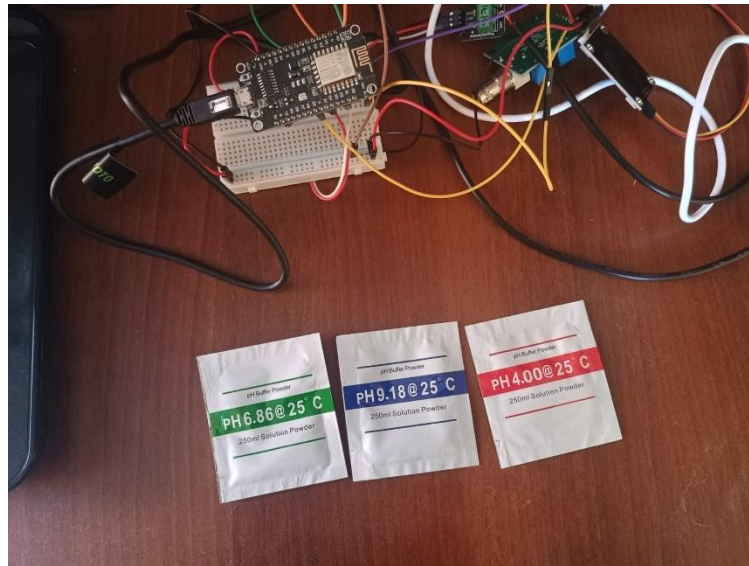
onde:

pH é o valor estimado,

V é a tensão em volts medida pelo sensor.

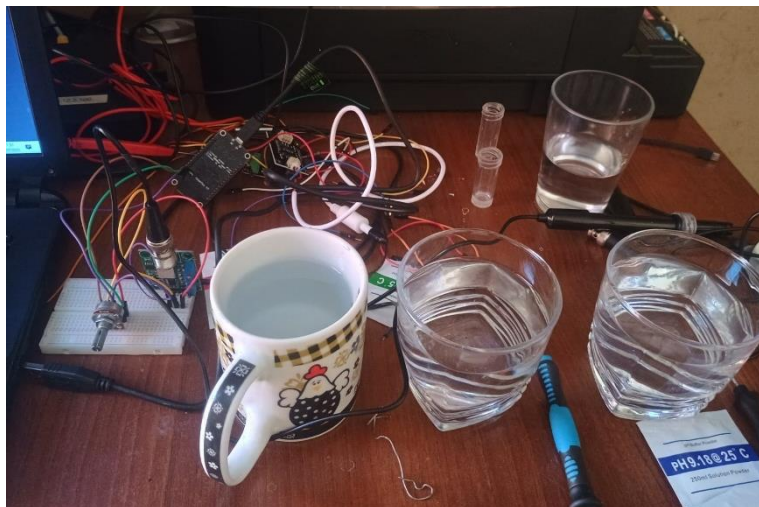
O coeficiente de determinação $R^2 = 0,82$ indicando uma forte correlação entre os valores medidos e os valores reais de pH. Isso significa que 98% da variação no valor de pH pode ser explicada pela variação na tensão medida pelo sensor, demonstrando a precisão da calibração. A equação obtida foi implementada no código-fonte do sistema de monitoramento, possibilitando a conversão automática dos valores de tensão em estimativas de pH em tempo real.

Figura 2 - Montagem do sistema de teste e calibragem dos sensores



Fonte: Autoria Própria (2025).

Figura 3 - Solução tampão para teste seguindo indicação do fabricante



Fonte: Autoria Própria (2025).

Figura 4 - IDE Arduino, calibração do pH

```

20
21 // Exibe os resultados
22 Serial.print("Leitura bruta: ");
23 Serial.print(leituraBruta);
24 Serial.print(" | Tensão: ");
25 Serial.print(tensao, 2);
26 Serial.print(" V | pH calibrado: ");
27 Serial.println(ph, 2);
28
29 delay(2000); // Aguarda 2 segundos antes da próxima leitura
30 }
31

```

Saída Monitor Serial X

Mensagem (Generic ESP8266 Module + Enter para enviar mensagem para 'COM3' em '(2)') Nova linha 9600 baud

```

Leitura bruta: 609 | Tensão: 1.96 V | pH calibrado: 10.26
Leitura bruta: 626 | Tensão: 2.02 V | pH calibrado: 9.66
Leitura bruta: 626 | Tensão: 2.02 V | pH calibrado: 9.66
Leitura bruta: 609 | Tensão: 1.96 V | pH calibrado: 10.26
Leitura bruta: 643 | Tensão: 2.07 V | pH calibrado: 9.05
Leitura bruta: 609 | Tensão: 1.96 V | pH calibrado: 10.26

```

Ln 31, Col 1 Generic ESP8266 Module em COM3 2

Fonte: Autoria Própria (2025).

3.4 SENSORES

3.4.1 Sensor de pH para Arduino + Módulo de Leitura BNC PH4502C

O sensor de pH BNC PH4502C é um dispositivo utilizado para medir a acidez ou alcalinidade de soluções líquidas, operando com uma escala de 0 a 14, onde valores abaixo de 7 indicam meio ácido, o valor 7 representa neutralidade e valores acima de 7 indicam meio alcalino. Sua aplicação é comum em diversas áreas, incluindo aquicultura, devido à sua eficiência e baixo custo.

O conjunto é composto por uma sonda de pH e um módulo de leitura PH4502C, que atua como uma placa amplificadora (Figura 5). A sonda detecta variações na concentração de íons H^+ na solução e gera um sinal elétrico proporcional ao valor de pH. Esse sinal, por ser de baixa intensidade, é amplificado pelo módulo, que o converte em uma tensão de saída (geralmente entre 0 e 5V), compatível com as entradas analógicas de microcontroladores como o Arduino. O módulo possui dois potenciômetros: um para ajuste fino da tensão de saída e outro para calibração do pH com base em soluções tampão, como pH 4.00 ou pH 9.18.

O monitoramento do pH é fundamental na aquicultura, pois esse parâmetro influencia diretamente os processos metabólicos, a disponibilidade de nutrientes e o equilíbrio fisiológico dos peixes. Manter o pH dentro de faixas adequadas é essencial para garantir a saúde, o crescimento e o bem-estar dos organismos cultivados (BOYD & TUCKER, 2012).

Figura 5 - Sensor de pH Arduino + Módulo de Leitura



Fonte: FERMARC robótica (2025).

3.4.2 Sensor de Temperatura DS18B20

Amplamente utilizado no monitoramento da temperatura da água em viveiros de peixes, o DS18B20 (Figura 6) é reconhecido por sua precisão, resistência e por funcionar bem mesmo quando está submerso. Ele se conecta facilmente a controladores como o Arduino ou o ESP32, usando apenas um fio para enviar os dados, o que facilita a montagem do sistema. Esse sensor consegue medir temperaturas de $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ até $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$, com boa precisão, especialmente na faixa mais usada na aquicultura, que vai de $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$. A leitura da temperatura é feita de forma digital, o que reduz erros e torna o monitoramento mais confiável. A temperatura é um fator crítico na aquicultura, pois influencia diretamente a respiração, alimentação e crescimento dos peixes. Suwardono et al. (2024) utilizaram o DS18B20 em um sistema de monitoramento com ESP32 para controle térmico em viveiros de catfish, demonstrando sua eficácia nesse tipo de ambiente.

Figura 6 - Sensor de temperatura DS18B20



Fonte: Robocore.com.br.

3.4.3 Sensor de Oxigênio Dissolvido

Este sensor mede a concentração de oxigênio dissolvido (OD) na água, expressa em mg/L ou em porcentagem de saturação. O oxigênio é um dos parâmetros mais críticos na piscicultura (CARDOSO et al, 2017), já que concentrações abaixo de 3–5 mg/L podem comprometer a respiração dos peixes, reduzir seu crescimento e aumentar a mortalidade e a incidência de doenças, conforme orientações da FAO.

Segundo os desenvolvedores o Sensor Oxigênio Dissolvido é ideal para pesquisadores, desenvolvedores e empresas que desejam adicionar a medição de oxigênio dissolvido em suas aplicações. Compatível com Arduino e Raspberry PI. O conjunto AcquaKit-OD permitindo leituras de oxigênio dissolvido entre 0 e 20 mg/L com precisão de $\pm 0,05$ mg/L e saturação em porcentagem (Figura 7).

Figura 7 - Kit Sensor de Oxigênio Dissolvido e Temperatura



Fonte: Aquanativa (2025).

3.4.4 Módulo Sensor de Turbidez ST100

A turbidez indica a presença de partículas em suspensão e pode sinalizar eventos como erosão do solo, escoamento superficial, descarga de efluentes ou crescimento excessivo de algas (EFFENDI et al., 2015). Tais fatores afetam diretamente a qualidade da água e a saúde dos organismos aquáticos. Neste projeto, o sensor ST100 será utilizado para monitorar esse parâmetro

O sensor ST100 (Figura 8) funciona com base na dispersão da luz: ele emite um feixe de luz infravermelha dentro da água e mede a quantidade de luz refletida pelas partículas em suspensão. Quanto mais turva estiver a água, maior será a quantidade de luz refletida, o que

resulta em uma variação na saída analógica do sensor. Essa saída pode ser lida por microcontroladores, como o Arduino ou Esp32, permitindo o acompanhamento contínuo da turbidez.

Figura 8 - Sensor de turbidez



Fonte: Usinainfo.com.br.

3.4.5 Sensor de Sólidos Totais Dissolvidos (TDS)

O sensor de TDS modelo KS0429 (Figura 9), permite o monitoramento da concentração de sais e minerais dissolvidos na água, sendo um indicador importante da qualidade do ambiente de cultivo. Valores excessivos podem prejudicar o equilíbrio osmótico dos peixes, afetando funções como respiração, excreção e absorção de nutrientes. Boyd (2017) aponta os sólidos dissolvidos como um dos principais fatores que comprometem a saúde dos peixes em sistemas de produção intensiva.

Tecnicamente, o sensor KS0429 funciona medindo a condutividade elétrica da água, já que a presença de íons dissolvidos (como cálcio, magnésio, sódio e cloreto) aumenta sua capacidade de conduzir eletricidade. O sensor converte essa condutividade em um valor de TDS (Total Dissolved Solids), geralmente expresso em partes por milhão (ppm). O módulo é composto por uma sonda de duas pontas e um circuito eletrônico que envia os dados de forma analógica para microcontroladores. A faixa de medição do KS0429 normalmente vai de 0 a 1000 ppm, e ele é mais eficiente em temperaturas entre 5 °C e 55 °C.

Figura 9 - Sensor de TDS modelo KS0429



Fonte: Usinainfo.com.br.

3.4.6 Medidor Multiparâmetro Completo Ak88

O medidor AK88 realiza a leitura simultânea de pH, condutividade, salinidade, oxigênio dissolvido (OD), TDS e temperatura (Figura 10). Robusto e portátil, é ideal para o monitoramento da qualidade da água em sistemas aquícolas, rios e estações de tratamento. Possui compensação automática de temperatura, ajustes de altitude e salinidade para OD, memória para 99 leituras e calibração automática.

Figura 10 - Medidor Multiparâmetro Ak88



Fonte: Akso

3.4.7 ESP8266 NodeMCU

O ESP8266 (Figura 11) é um microcontrolador de baixo custo com conectividade Wi-Fi integrada, amplamente utilizado em projetos de Internet das Coisas (IoT). Baseado no chip ESP8266EX, ele possui capacidade de processamento suficiente para controlar sensores, executar tarefas lógicas e enviar dados para plataformas remotas. Conta com pinos digitais

(GPIOs), uma entrada analógica (ADC), e suporte às comunicações UART, I²C e SPI, o que facilita a integração com uma grande variedade de sensores e módulos. É programável diretamente na IDE do Arduino, o que torna seu uso acessível até para iniciantes. Além disso, o ESP8266 pode operar tanto como cliente quanto como ponto de acesso Wi-Fi, permitindo o envio e recebimento de dados em tempo real por meio de protocolos como HTTP ou MQTT.

Figura 11 - ESP8266 NodeMCU



Fonte: Amazon.com.br.

3.4.8 Arduino Uno

O Arduino Uno (Figura 12) é uma placa microcontroladora de código aberto baseada no microcontrolador ATmega328P. Ele é um dos modelos mais populares da plataforma Arduino e é amplamente utilizado em projetos de automação, robótica, sistemas embarcados e ensino de eletrônica.

Projetado para ser simples e acessível, o Arduino Uno permite que iniciantes e profissionais criem protótipos de sistemas eletrônicos com facilidade, utilizando uma linguagem de programação baseada em C/C++ e uma interface amigável, a IDE do Arduino.

Figura 12 - Arduino Uno



Fonte: Eletrodex.net.

3.4.9 Jumpers

Fios condutores com terminais metálicos utilizados para conexões elétricas temporárias ou permanentes entre módulos, sensores e microcontroladores (Figura 13). Podem ser do tipo macho-macho, macho-fêmea ou fêmea-fêmea.

Figura 13 - Jumpers



Fonte: Eletrogate.com.

3.4.10 Protoboard

Placa de ensaio para montagem e testes de circuitos eletrônicos sem necessidade de solda (Figura 14). Possui matriz de furos interligados que facilita conexões entre sensores, módulos e microcontroladores, ideal para prototipagem.

Figura 14 - Placa de teste



Fonte: Mamute Eletrônica.

3.4.11 Fonte de Tensão 5v

Fonte de alimentação contínua e estável para os circuitos eletrônicos utilizados no experimento, compatível com Arduino, NodeMCU e sensores. Pode ser obtida via USB, baterias ou conversores com regulagem de tensão.

Figura 15 - Fonte 5v.

Fonte: Autoria Própria.

3.5 TABELA DE VALORES

A Tabela apresenta os preços médios pagos pelos sensores adquiridos para a realização deste estudo, considerando valores praticados no mercado no ano de 2025.

Dispositivo	Valor	Local da compra
Sensor de Ph	R\$ 58,48	China
Sensor de TDS	R\$ 33,55	China
Sensor de OD	R\$ 750,00	Brasil
Sensor de Temperatura	R\$ 22,00	Brasil
Protoboard	R\$ 12,00	Brasil
ESP8266	R\$ 28,40	Brasil
TOTAL:	R\$ 904,43	

Fonte: Autoria Própria.

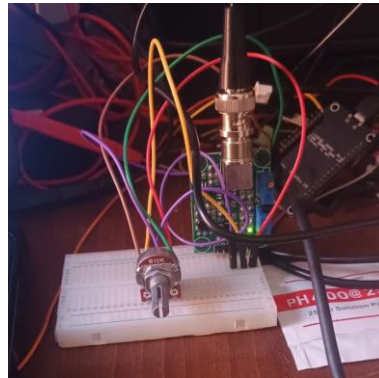
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Testes preliminares, calibração do sensor de pH e adaptações técnicas

Durante a etapa inicial dos testes práticos do sistema de monitoramento, foram realizadas leituras utilizando o sensor de pH conectado à placa ESP8266, com sinal amplificado por uma placa própria para esse tipo de sonda. As leituras brutas (valores entre 0 e 1023), bem como as tensões correspondentes (em volts), foram registradas por meio da leitura analógica na porta A0 da ESP8266.

Para garantir a confiabilidade dos dados, foi realizada a calibração do sensor utilizando soluções tampão padrão com pH conhecido: 4.00, 6.86 e 9.18. Durante os testes, observou-se que a tensão de saída da placa amplificadora se mantinha constante, mesmo com variações na solução, indicando possível defeito no trimpot da placa. A fim de contornar essa limitação, foi realizada uma substituição do trimpot original por um potenciômetro de 10 k Ω montado em uma protoboard. Essa adaptação permitiu o controle mais preciso da tensão de saída e viabilizou a calibração correta da sonda (Figura 16).

Figura 16 - Adaptação de um potenciômetro 10k Ω



Fonte: Autoria Própria (2025).

Após a coleta dos dados de tensão em cada solução tampão, foi aplicada uma regressão linear simples para estabelecer a relação entre a tensão lida e o valor real de pH. A equação obtida foi:

$$\mathbf{pH = v - 8,12. V + 24,40}$$

Onde:

V representa a tensão (em volts) medida na entrada analógica. O coeficiente de determinação foi de $R^2 = 0,98$, indicando uma forte correlação entre os valores medidos e os valores reais, o que comprova a confiabilidade da calibração. A equação foi então implementada no código-fonte do sistema de monitoramento, possibilitando a estimativa em tempo real do pH da água.

Adicionalmente, foram realizados testes com diferentes amostras, como água da rede pública, e os valores de pH estimados mostraram-se compatíveis com o esperado. No entanto, alguns desafios técnicos foram enfrentados. O sensor de turbidez ST100, inicialmente previsto

para compor o sistema, apresentou falhas operacionais logo após a montagem. Mesmo após a revisão das conexões, alimentação e troca de portas, o componente não respondia nem gerava leitura, sendo necessário descartá-lo desta versão do sistema.

Ainda durante os testes, foi necessário alternar entre dois módulos de leitura (figura 17) e duas sondas BNC de pH devido a inconsistências nas leituras. As adaptações permitiram maior estabilidade e coerência nos dados, validando o método de calibração proposto e reforçando a viabilidade do uso de sensores de pH de baixo custo em sistemas familiares de piscicultura.

Figura 17 - Módulos de Leitura do Sensor de pH BNC PH4502C



Fonte: Autoria Própria (2025).

4.2 Resultados e Discussão dos Testes Experimentais com Sensores de Baixo Custo

Os testes experimentais foram realizados em duas etapas principais: (i) verificação da funcionalidade, calibração e estabilidade dos sensores de baixo custo e (ii) comparação das leituras obtidas com sensores comerciais de referência, utilizando dados coletados ao longo de três dias, em períodos de 4 a 6 horas por dia, com coletas a cada 20 minutos.

Os sensores de baixo custo testados foram: sensor de pH com sonda BNC e amplificador PH4502C, sensor de oxigênio dissolvido (OD) AK88, sensor de temperatura DS18B20 e sensor de sólidos totais dissolvidos (TDS) KS0429.

4.2.1 Desempenho e Estabilidade dos Sensores

4.2.1.1 pH (Potencial Hidrogeniônico)

No primeiro dia de testes, o sensor de pH PH4502C operou de forma satisfatória, apresentando leituras coerentes e compatíveis com o sensor de referência que marcava pH

inicial de 4.7 e 5.2 verificados por meio de sonda de referência e teste químico da água, validando sua calibração inicial. No entanto, a partir do segundo dia, mesmo sob as mesmas condições ambientais e com calibração prévia, o sensor começou a registrar valores instáveis e incoerentes, comprometendo a confiabilidade, sendo desprezado o seu uso no terceiro dia de testes.

Este comportamento foi semelhante ao relatado por Dos Santos et al. (2018), que observaram inconsistências nas leituras durante testes com soluções tampão, exigindo ajustes na tensão e no código programável para correção. No presente teste, tentativas de correção como troca de cabos, substituição da placa amplificadora, ajuste de potenciômetro e alimentação direta foram realizadas, mas sem resultados consistentes.

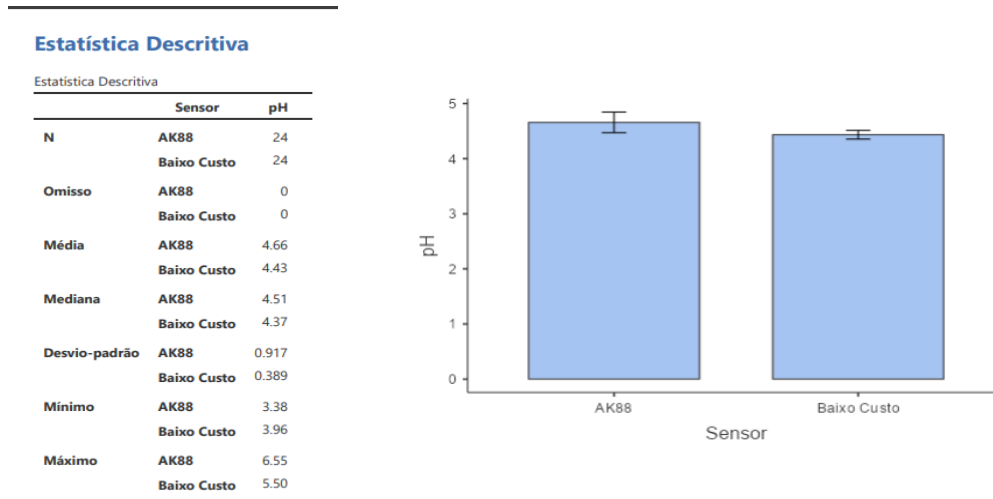
Curiosamente, quando o sensor foi testado com leitura direta da tensão de saída (Vout), os valores voltaram a ser coerentes com os esperados. Esse comportamento sugere que a falha está mais relacionada à instabilidade do circuito de amplificação do módulo do que à sonda de pH em si.

Apesar de apresentar desempenho aceitável em testes pontuais, o sensor PH4502C é indicado para uso contínuo ou monitoramento remoto tendo apenas que substituir a placa de amplificação por versões mais robustas. Esse tipo de limitação foi também relatado por usuários em fóruns técnicos, reforçando a necessidade de cautela na aplicação prática em campo.

A análise de variância (ANOVA) realizada com os dados de potencial Hidrogeniônico (pH) obtidos por sensores de baixo custo e pelo sensor AK88 não indicou diferença estatisticamente significativa entre os sensores ($p = 0,2769$), sugerindo que ambos apresentam desempenho semelhante na medição desse parâmetro.

O teste de Tukey também demonstrou que as médias dos dois sensores pertencem ao mesmo grupo estatístico (letra "a1"), confirmando a equivalência nos resultados. A média geral do pH foi de 4,54 mg/L, com um coeficiente de variação (CV) de 15,5%, valor aceitável para experimentos com dados ambientais.

Esses dados indicam que o sensor de baixo custo pode ser utilizado de forma alternativa ao sensor AK88, especialmente em sistemas de produção aquícola familiar, onde o custo dos equipamentos comerciais pode ser um fator limitante.

Figura 18 – Análise de pH de sensores de baixo custo e de referência

Fonte: Elaboração própria com uso do software Jamovi, 2025.

O gráfico de barras apresentado na Figura 18 ilustra a comparação entre os sensores AK88(AKSO) e PH4502C quanto à medição do pH da água. Observa-se que as médias dos dois sensores foram semelhantes, com pequenas variações. Essa proximidade visual reflete o resultado estatístico obtido, que não indicou diferença significativa entre os sensores ($p = 0,2769$). Portanto, o gráfico reforça a equivalência dos dispositivos na medição de pH em ambiente aquícola.

4.2.1.2 TDS (Total de Sólidos Dissolvido)

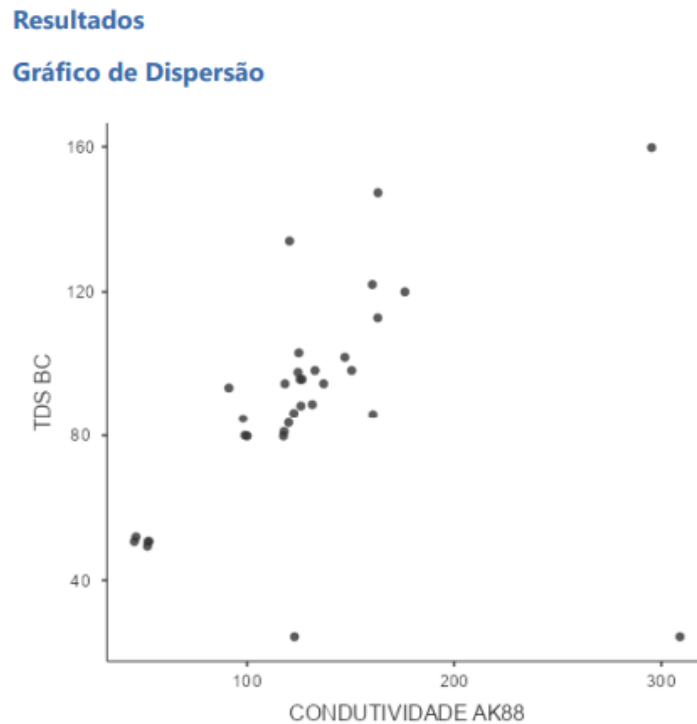
O sensor de TDS (Total de Sólidos Dissolvido) utilizado neste trabalho apresentou leituras estáveis e coerentes com os valores esperados, especialmente em amostras de água da rede pública. Os resultados obtidos foram comparados com um medidor de condutividade elétrica profissional, utilizado como equipamento de referência, e observou-se boa correspondência entre os valores, o que confirma a relação esperada entre condutividade elétrica e concentração de sólidos dissolvidos, dentro de uma margem de tolerância aceitável para sistemas de monitoramento simplificado.

Entretanto, foram identificadas pequenas oscilações nos dados, especialmente quando múltiplos sensores estavam conectados simultaneamente ao mesmo microcontrolador. Esse comportamento sugere a presença de interferências elétricas no sinal analógico, um fenômeno

comum em sistemas de baixo custo, que geralmente não contam com isolamento adequado nem fontes de alimentação independentes. Ainda assim, o sensor não apresentou falhas críticas e manteve sua funcionalidade ao longo dos testes.

Esses resultados estão de acordo com as observações de Monteiro (2020), que também reportou bom desempenho de sensores de TDS em diferentes amostras de água. No estudo, o autor destacou que, apesar de limitações técnicas, sensores de TDS se mostraram eficazes para monitoramento simplificado da qualidade da água, especialmente quando integrados a sistemas automatizados de baixo custo voltados à aquicultura familiar.

Figura 19 - Gráfico de dispersão da condutividade elétrica x TDS



Fonte: Elaboração própria com uso do software Jamovi, 2025.

O gráfico de dispersão apresentado na Figura 19 ilustra a relação entre os valores de condutividade elétrica obtidos pelo sensor de referência (AK88) e os valores de TDS registrados pelo sensor de baixo custo. Observa-se uma tendência de correlação positiva, indicando que os

aumentos na condutividade acompanham aumentos nos valores de TDS, como já descrito na literatura técnica.

Figura 20 - Gráfico Regressão linear entre condutividade elétrica (AK88) e TDS (sensor de baixo custo).

Regressão Linear

Medidas de Ajustamento do Modelo

Modelo	R	R ²
1	0.388	0.151

Nota. Models estimated using sample size of N=33

Coefficientes do Modelo - TDS BC

Preditor	Estimativas	Erro-padrão	t	p
Intercepto	61.511	12.4333	4.95	< .001
CONDUTIVIDADE AK88	0.208	0.0888	2.34	0.026

Fonte: Elaboração própria com uso do software Jamovi, 2025.

Com o objetivo de avaliar matematicamente a relação entre os valores de condutividade elétrica obtidos pelo sensor AK88 e os dados de TDS fornecidos pelo sensor de baixo custo, foi aplicada uma regressão linear simples. O modelo revelou uma correlação positiva e estatisticamente significativa entre as variáveis ($p = 0,026$), com um coeficiente de determinação (R^2) de 0,151. Isso indica que aproximadamente 15,1% da variação observada no TDS pode ser explicada pela condutividade elétrica registrada pelo sensor AK88.

O coeficiente de regressão da variável preditora (condutividade) foi de 0,208, sugerindo que, a cada incremento de 1 unidade na condutividade, há um aumento médio de 0,208 unidades no TDS. Embora o modelo revele uma associação significativa, o valor de R^2 relativamente baixo evidencia que outros fatores podem estar influenciando os valores de TDS e que a condutividade, sozinha, não é suficiente para explicar toda a variação observada.

4.2.1.3 OD (Oxigênio Dissolvido)

Durante a fase experimental, foram realizadas 36 coletas de dados de oxigênio dissolvido (OD) utilizando o sensor de baixo custo AK88 da marca AquaNativa, conectado a um microcontrolador Arduino, previamente calibrado com solução padrão. As coletas foram feitas em amostras de água provenientes do sistema de piscicultura, sob condições padronizadas de coleta.

Para aferição da confiabilidade e precisão do sensor AK88 (AKSO), foi utilizada como base de comparação uma sonda multiparâmetro profissional, que acompanhou simultaneamente as medições em todas as amostras.

A análise estatística do oxigênio dissolvido (OD) comparando os sensores de baixo custo com o sensor de referência AK88 indicou ausência de diferença estatisticamente significativa ($p = 0,1323$). Ambos os sensores apresentaram médias semelhantes (5,36 mg/L e 5,59 mg/L, respectivamente) e foram agrupados na mesma categoria pelo teste de Tukey, o que sugere desempenho equivalente na medição desse parâmetro. O coeficiente de variação de 11,62% indica boa precisão, tornando o sensor de baixo custo tecnicamente viável para uso em monitoramento da qualidade da água em sistemas aquícolas, desde que considerado o contexto operacional e as limitações estruturais do equipamento.

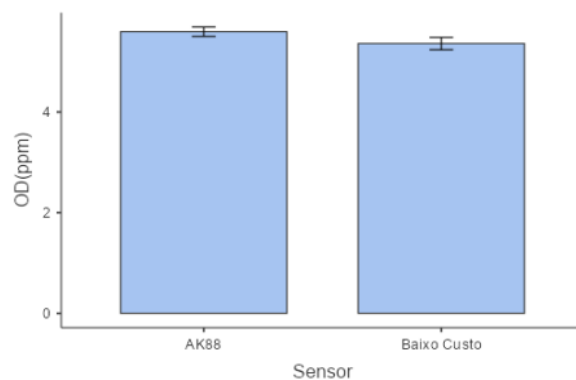
Figura 21 – Gráficos de Médias de oxigênio dissolvido (OD) obtidas pelos sensores AK88 e de baixo custo

Estatística Descritiva

Estatística Descritiva		
	Sensor	OD(ppm)
N	AK88	34
	Baixo Custo	34
Omisso	AK88	0
	Baixo Custo	0
Média	AK88	5.59
	Baixo Custo	5.36
Mediana	AK88	5.50
	Baixo Custo	5.30
Desvio-padrão	AK88	0.549
	Baixo Custo	0.713
Mínimo	AK88	4.30
	Baixo Custo	3.90
Máximo	AK88	6.90
	Baixo Custo	7.40

Gráficos

OD(ppm)



A Figura 21 Mostra o gráfico de barras representando as médias dos valores de oxigênio dissolvido (OD) obtidos pelos sensores AK88 e de baixo custo. Observa-se que, conforme a análise de variância (ANOVA), não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos ($p > 0,05$), o que é confirmado pela análise visual do gráfico de barras.

4.2.1.4 Sensor de Temperatura DS18B20

Durante a realização dos experimentos, foram coletadas 36 amostras de temperatura da água, utilizando simultaneamente dois sensores distintos: o sensor de referência e o sensor digital de baixo custo DS18B20, acoplado ao microcontrolador ESP8266.

As leituras obtidas demonstraram variações próximas entre os dois sensores, com diferença média inferior a $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ na maioria das amostras. O sensor DS18B20 apresentou bom desempenho em termos de estabilidade e repetitividade dos dados, com valores consistentes ao longo das medições.

Estudos anteriores corroboram a eficiência do sensor DS18B20. De acordo com Martinazzo e Orlando (2016), o DS18B20, por ser digital, não necessita de conversão analógica e, por isso, apresenta maior precisão e menor variabilidade em comparação com sensores analógicos. Pacheco et al. (2025) também destacam a adequação do DS18B20 para aplicações com microcontroladores como o ESP32, permitindo monitoramento contínuo e confiável da temperatura.

Portanto, os resultados obtidos reforçam que, apesar do custo reduzido, o sensor DS18B20 mostrou-se eficaz no monitoramento da temperatura da água, sendo uma alternativa viável para projetos de automação aquícola com limitação orçamentária.

A análise de variância (ANOVA) para os dados de temperatura mostrou que não houve diferença estatisticamente significativa ($p = 0,6930$) entre o sensor de referência (AK88) e o sensor de baixo custo (DS18B20). Ambos apresentaram médias muito próximas ($23,81\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $24,00\text{ }^{\circ}\text{C}$, respectivamente), e o teste de Tukey confirmou que pertencem ao mesmo grupo estatístico.

O coeficiente de variação (CV) foi de $8,94\%$, indicando boa uniformidade das medições. Esse resultado sugere que o sensor DS18B20, mesmo sendo mais acessível, pode ser utilizado

como alternativa viável para monitoramento de temperatura em sistemas de piscicultura familiar.

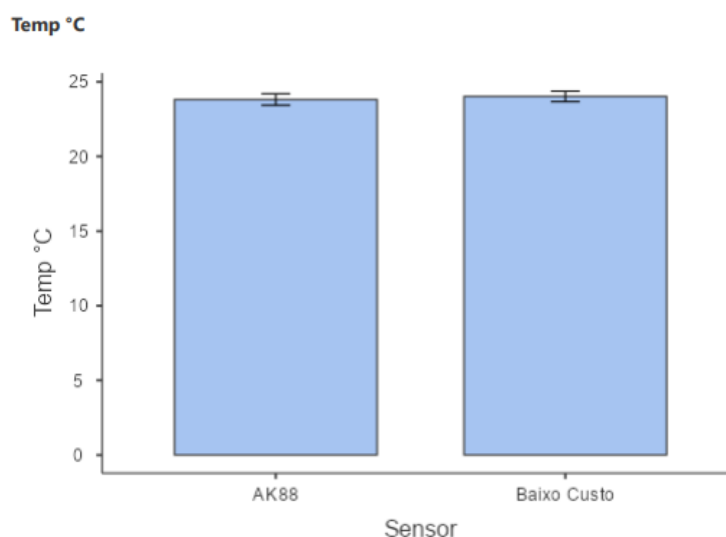
Figura 22 – Gráficos, medidas de temperaturas obtidas pelos sensores AK88 e de baixo custo

Estatística Descritiva

Estatística Descritiva

	Sensor	Temp °C
N	AK88	34
	Baixo Custo	34
Omisso	AK88	0
	Baixo Custo	0
Média	AK88	23.8
	Baixo Custo	24.0
Mediana	AK88	24.1
	Baixo Custo	24.7
Desvio-padrão	AK88	2.23
	Baixo Custo	2.04
Mínimo	AK88	20.0
	Baixo Custo	20.0
Máximo	AK88	28.2
	Baixo Custo	26.9

Gráficos



Fonte: Elaboração própria com uso do software Jamovi, 2025.

O gráfico de barras apresentado na Figura 22 ilustra a comparação entre os sensores AK88 (AKSO) e DS18B20 quanto à medição da temperatura da água. Observa-se que as médias dos dois sensores foram semelhantes, com pequenas variações. Essa proximidade visual reflete o resultado estatístico obtido, que não indicou diferença significativa entre os sensores ($p = 0,6930$). Portanto, o gráfico reforça a equivalência dos dispositivos na medição de temperatura em ambiente aquícola.

4.2.2 Testes Químicos

O único teste químico empregado neste trabalho foi o de medição de pH, utilizando kits colorimétricos comerciais. Esse tipo de teste é amplamente utilizado por seu baixo custo e boa confiabilidade, especialmente quando comparado a métodos eletrônicos de baixa precisão. No entanto, ele também apresenta limitações pouco discutidas, mas bem conhecidas pelos usuários.

No caso específico da marca OceanTest, assim como em outras disponíveis no mercado, a escala de leitura é restrita, abrangendo apenas valores entre 6,2 e 7,5, o que pode ser insuficiente mesmo para ambientes de água doce. Em sistemas de piscicultura, o pH da água pode ultrapassar facilmente esses limites, principalmente em momentos de intensa fotossíntese ou variações no manejo.

Outro ponto observado é a curta validade dos reagentes, o que representa um custo adicional para pequenos produtores que não fazem uso frequente desses testes. Isso os torna, em alguns casos, pouco vantajosos em termos de custo-benefício para pequenos aquaristas e piscicultores.

Figura 23 - Teste Colorimétrico de pH.



Fonte: Aatoria Própria (2025).

5 TESTES DE IMERSÃO TOTAL

5.1 Oxigênio Dissolvido

O teste de imersão total foi realizado no período de 23 a 24 de julho de 2025, com início às 10h da manhã do primeiro dia e término no mesmo horário do dia seguinte, totalizando 24 horas contínuas de monitoramento. O experimento teve como objetivo avaliar a estabilidade e o desempenho dos sensores de baixo custo sob submersão constante em condições controladas.

As variáveis analisadas foram: oxigênio dissolvido (OD), temperatura da água (°C) e sólidos totais dissolvidos (TDS). O sensor de pH de baixo custo (PH4502C) foi excluído desta etapa devido a falhas técnicas que impossibilitaram sua calibração e coleta confiável de dados.

Os sensores foram imersos em um recipiente contendo 6 litros de água proveniente de um dos tanques de criação de peixes do Instituto Federal do Tocantins *Campus* Palmas. A água utilizada foi retirada diretamente do sistema de piscicultura, representando as condições reais do ambiente de criação.

5.2 TDS

Durante os testes observou-se que os valores de TDS obtidos pelo sensor de baixo custo apresentaram variações em relação à condutividade elétrica registrada pelo sensor de referência (AK88). Embora exista uma relação direta entre TDS e condutividade já que ambos estão associados à presença de íons dissolvidos na água, essa relação não é absoluta. A condutividade elétrica mede a capacidade da água de conduzir eletricidade, influenciada principalmente pela concentração de íons (RIBEIRO et al., 2005). No entanto, o TDS representa todos os sólidos dissolvidos, incluindo substâncias que não necessariamente conduzem eletricidade) de forma significativa (CARACAS, 2013). Dessa forma, outros fatores podem influenciar os valores de TDS observados, o que explica por que a condutividade, sozinha, não é suficiente para justificar toda a variação nas comparações.

Tabela 1 - Resultados da imersão total.

HORA	AK88 AKSO	SENSOR BAIXO CUSTO
10:00	55.7	55.85
10:15	63.7	57.12

Fonte: Autoria Própria (2025).

Durante o teste de imersão total, realizado ao longo de 24 horas contínuas, o sensor de TDS de baixo custo apresentou desempenho estável e manteve sua integridade estrutural e funcional durante todo o período submerso. As leituras obtidas mostraram variação compatível com os registros do sensor de condutividade de referência (AK88), indicando que, apesar das limitações esperadas em sensores de menor custo, o equipamento foi capaz de operar de forma confiável ao longo do tempo.

Durante o teste de imersão total, realizado ao longo de 24 horas contínuas, o sensor de TDS de baixo custo apresentou desempenho estável, mantendo sua integridade estrutural e

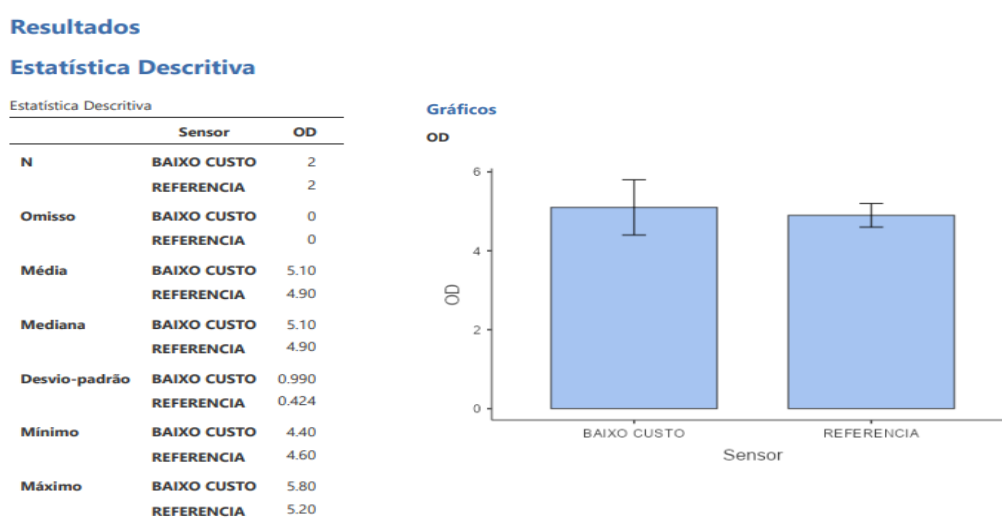
funcional durante todo o período submerso. As leituras obtidas mostraram variações compatíveis com os registros do sensor de condutividade de referência (AK88), indicando que, apesar das limitações esperadas em sensores de menor custo, o dispositivo demonstrou ser capaz de operar de forma confiável ao longo do tempo. Resultados semelhantes foram observados por Setyobudi et al. (2023), que também concluíram que sensores de TDS apresentam desempenho satisfatório em sistemas de monitoramento contínuo da qualidade da água, mesmo em condições de uso prolongado.

5.3 OD (Oxigênio Dissolvido)

A análise de variância (ANOVA) realizada com os dados do teste de imersão total não apontou diferença estatisticamente significativa entre os sensores de oxigênio dissolvido ($p > 0,8174$), indicando que os valores médios obtidos foram estatisticamente equivalentes. As médias observadas foram de 4,90 mg/L para o sensor de referência (AK88) e 5,10 mg/L para o sensor de baixo custo, ambas pertencentes ao mesmo grupo estatístico (α_1) segundo o teste de médias.

O coeficiente de variação (CV) foi de 15,23%, valor considerado aceitável em experimentos com dados ambientais, e o erro padrão foi de 0,54. Esses resultados reforçam a confiabilidade do sensor de baixo custo em medições prolongadas, como no cenário de imersão total.

Figura 24 - Médias de oxigênio dissolvido (OD) obtidas pelos sensores AK88 e de baixo custo



Fonte: Elaboração própria com uso do software Jamovi, 2025.

O gráfico de barras com erro padrão apresenta a comparação visual das médias de oxigênio dissolvido (OD) obtidas pelos sensores de baixo custo e de referência. As barras indicam os valores médios, enquanto as linhas no topo representam o desvio padrão de cada grupo. Observa-se que ambas as barras possuem alturas semelhantes, refletindo a proximidade entre as médias dos sensores (5,10 mg/L para o de baixo custo e 4,90 mg/L para o de referência). Além disso, a sobreposição das barras de erro reforça a ausência de diferença estatística significativa entre os tratamentos, evidenciando que os dois sensores produziram resultados comparáveis em termos de OD. Esse comportamento visual está em conformidade com os resultados obtidos na análise de variância e no teste de Tukey.

5.4 Temperatura

A análise de variância (ANOVA) indicou ausência de diferença estatística significativa entre os sensores ($p = 0,1548$), o que indica que ambos apresentaram resultados equivalentes na medição da temperatura. O coeficiente de variação (CV) foi de 0,44%, valor extremamente baixos, indicando elevada precisão nas medições e baixa dispersão dos dados.

O teste de Tukey, aplicado para comparação entre médias, também demonstrou que os sensores pertencem ao mesmo grupo estatístico (α_1), confirmando a inexistência de diferença significativa entre eles.

Esses resultados sugerem que o sensor de baixo custo apresenta desempenho confiável e comparável ao sensor de referência na medição da temperatura (CUNHA et al., 2025), mesmo em condições de imersão contínua. Essa equivalência é um indicativo importante da viabilidade de sua aplicação em sistemas de monitoramento ambiental de baixo custo.

Figura 25 - Médias de temperaturas obtidas pelos sensores AK88 e de baixo custo

Resultados

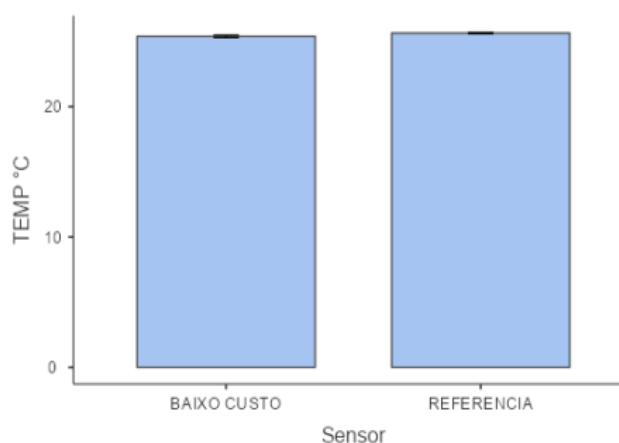
Estatística Descritiva

Estatística Descritiva

	Sensor	TEMP °C
N	BAIXO CUSTO	2
	REFERENCIA	2
Omisso	BAIXO CUSTO	0
	REFERENCIA	0
Média	BAIXO CUSTO	25.4
	REFERENCIA	25.6
Mediana	BAIXO CUSTO	25.4
	REFERENCIA	25.6
Desvio-padrão	BAIXO CUSTO	0.141
	REFERENCIA	0.0707
Mínimo	BAIXO CUSTO	25.3
	REFERENCIA	25.6
Máximo	BAIXO CUSTO	25.5
	REFERENCIA	25.7

Gráficos

TEMP °C



Fonte: Elaboração própria com uso do software Jamovi, 2025.

O gráfico de barras apresentado ilustra as médias das temperaturas registradas pelos sensores baixo custo e referência, evidenciando valores médios muito próximos (25,4 °C e 25,65 °C, respectivamente). As barras, acompanhadas de seus respectivos erros padrão, mostram sobreposição quase completa, sugerindo uniformidade nas medições entre os dispositivos.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os testes realizados demonstraram que sensores de baixo custo podem ser ferramentas úteis no monitoramento da qualidade da água em sistemas de aquicultura de pequena escala, desde que suas limitações técnicas sejam compreendidas e consideradas. O sensor de pH PH4502C apresentou instabilidade após o primeiro dia de uso, indicando a necessidade de novos testes com módulos de amplificação mais robustos. Por outro lado, o sensor de TDS

obteve bom desempenho, com variações compatíveis às do sensor de condutividade AK88, inclusive durante o teste de imersão contínua de 24 horas.

O sensor de temperatura DS18B20 destacou-se pela precisão e estabilidade, sendo o mais indicado para aplicações de monitoramento contínuo. A análise estatística confirmou que, para os parâmetros de pH e oxigênio dissolvido (OD), não houve diferença estatística significativa entre os sensores de baixo custo e os sensores comerciais de referência.

Também se observou a ausência de sensores de baixo custo para variáveis como amônia e nitrito, que são fundamentais para o controle da qualidade da água.

Dessa forma, conclui-se que os sensores avaliados, embora simples e econômicos, apresentam potencial para integração em sistemas automatizados de monitoramento na piscicultura familiar, contribuindo para a gestão mais eficiente, acessível e sustentável da produção aquícola.

7. ANEXO A – Especificações do aparelho ak88 marca AKSO

Figura 26 - Informações técnicas aparelho ak88 AKSO

-
- **Compensação automática**
Temperatura: 0 a 60°C (pH, Condutividade, Salinidade, Oxigênio Dissolvido)
 - **Compensação manual**
Altitude (OD): 0 a 3500m
Salinidade (OD): 0 a 42ppt
 - **Ajuste (calibração) pH:**
4.00, 7.00 e 10.01 (alterável)
 - **Ajuste (calibração) Condutividade:**
60.0 a 170.0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (alterável)
600 a 1700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (alterável)
6.00 a 17.00 mS/cm (alterável)
51.5 mS/cm (fixo)
 - **Ajuste (calibração) Oxigênio Dissolvido:**
100% OD (no ar)
 - **Memória**
AK87: 396 registros (99 para cada parâmetro)
AK88: 99 registros (4 parâmetros por registro)
 - **Ambiente de operação**
Temperatura: 0 a 50 °C
Umidade: 10 a 80 %UR (sem condensação)
 - **Grau de proteção:**
IP67 (à prova d'água)
 - **Alimentação**
AK87: 6Vdc - 4 pilhas AAA alcalinas
AK88: 9Vdc - 6 pilhas AAA alcalinas
 - **Desligamento automático:**
Após 60 minutos de inatividade
 - **Dimensões**
Instrumento (LxAxP): 79x 179 x 44 mm
Sonda pH-temp (cabos): 130cm
Sonda cond.-sal.-temp (cabos): 130cm
Sonda OD-temp (cabos): 280cm

Fonte: AKSO

REFERÊNCIAS

- BACCARIN, A.E. **Impacto ambiental e parâmetros zootécnicos da produção de Tilápia do Nilo (*oreochromis niloticus*) sob diferentes manejos alimentares.** Dissertação (Doutorado). 2002. 56p. Universidade Estadual Paulista –UNESP, Jaboticabal, 2002.
- BASTIAN, R. **EPA prefers effluents to be recycled.** *Water Farming J.*, 28:7-10, 1991
- BOYD, C. E. **Manejo da qualidade da água na aquicultura.** Springer, 2019.
- BOYD, C. E., & TUCKER, C. S. (2012). **Pond Aquaculture Water Quality Management.** Springer Science & Business Media.
- BOYD, Claude E. **Water quality: an introduction.** 2. ed. Cham: Springer, 2017. 367 p.
- BRANDÃO, A. M. et al. **Sanidade animal e sustentabilidade na produção agropecuária: uma revisão.** *Revista de Saúde e Ambiente Animal*, v. 3, n. 1, p. 14-21, 2021.
- CAMPAGNOLI DE OLIVEIRA FILHO, P. R. **Aplicação da Internet das Coisas (IoT) no monitoramento automatizado de tanques de piscicultura no estado de Pernambuco.** *Revista Observatório de la Economia Latino-americana*, Curitiba, v. 23, n. 5, p. 1–16, 2025. Disponível em: ResearchGate. Acesso em: 02 jun. 2025.
- CARACAS, ISABELLE BEZELGA. **Influência da salinização em parâmetros de qualidade das águas subterrâneas na região costeira do Baixo Jaguaribe.**2013. 100 f. Dissertação submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais, do Instituto de Ciências do Mar –LABOMAR –Universidade Federal do Ceará, Fortaleza,2013.
- CARDOSO, Georger Lúcio Silva et al. **Boas práticas de manejo na produção, aplicadas à piscicultura.** 2017.
- CARVALHO JUNIOR, L.A. (2011) **Secretário de Proteção Ambiental. Palestra no dia mundial da água.** Prefeitura Municipal de Santa Maria- SMPA, Santa Maria, 22 de março de 2011.).
- CHAVES, V. L. et al. **Low-Cost Water Quality Sensors for IoT: A Systematic Review.** *Sensors*, v. 23, n. 9, p. 1-26, 2023. Disponível em: ResearchGate. Acesso em: 10 jul. 2025.
- COSTA, D. L. et al. **Avaliação de sensores de baixo custo aplicados à piscicultura familiar.** *Ciência Rural*, v. 53, n. 8, 2023.
- CUNHA, Daniel Andrade et al. **Sistema IoT de monitoramento de temperatura e umidade em colmeias de abelhas sem ferrão.** *Brazilian Journal of Development*, v. 11, n. 4, p. e79169-e79169, 2025.
- DIAS, M. T.; et al. **Pesquisa científica impulsiona piscicultura: estudos sobre tambaqui, pirarucu e matrinxã na Amazônia.** *Embrapa Pesca e Aquicultura*. 26 jul. 2016. Disponível em: Embrapa. Acesso em: 9 jul. 2025.

DINHEIRO, IstoÉ. **Falta água no país que tem água demais.** IstoÉ Dinheiro, 23 ago. 2012. Disponível em: <https://www.istoedinheiro.com.br/noticias/economia/20120823/falta-agua-pais-tem-agua-demais/11069>. Acesso em: 08 jul. 2025.

DOS SANTOS, Izaias Batista et al. **Internet das coisas (IoT) aplicada ao agronegócio: Projeto e implementação de um gateway de IoT sobre a plataforma Arduino para simplificar a automatização da aquicultura.** Brazilian Journal of Development, v. 5, n. 11, p. 26631-26653, 2019.

DOS SANTOS, Monique Virões Barbosa et al. **Desenvolvimento de sistema automático de análise de pH e temperatura da água para aquicultura.** Anais do Computer on the Beach, v. 9, p. 325-333, 2018.

EFFENDI, H., ROMANTO, & WARDIATNO, Y. (2015). **Water Quality Status of Ciambulawung River, Banten Province, Based on Pollution Index and NSF-WQI.** Procedia Environmental Sciences, 24, 228–237. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.03.030>

EMBRAPA. **Automação e tecnologias digitais na piscicultura.** Palmas: Embrapa Pesca e Aquicultura, 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1122338>.

FAO – Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. **El estado mundial de la pesca y la acuicultura: oportunidades y desafíos roma.**2014. Disponível em <<http://www.fao.org/3/a-i3720s.pdf>> Acesso em 1 de julho de 2025.

FAO. Chapter 3.1.3 **Dissolved oxygen.** In: FAO Aquaculture Production Manual. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2022. Disponível em: <https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/aquaculture/a0844t/docrep/009/T1623E/T1623E03.htm>. Acesso em: 10 jul. 2025.

FERNANDES, Felipe Augusto; COSTA, Renata Andrade da; LIMA, Matheus Silva de. **Sensores de baixo custo e Internet das Coisas aplicados ao monitoramento ambiental: uma revisão.** Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento, v. 3, n. 5, p. 135-152, 2020. Disponível em: <<https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharias/sensores-de-baixo-custo>> Acesso em: 26 jul. 2025.

FERREIRA, C. M. et al. **Panorama da piscicultura no Brasil: estatísticas, espécies, polos de produção e fatores limitantes à expansão da atividade.** Revista Brasileira de Produção Animal, v. 14, n. 2, p. 87–97, 2012. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/308309641>. Acesso em: 10 jun. 2025.

GADELHA, José Eduardo Ferreira Da Silva et al. **Consequências da eutrofização em corpos hídricos.** REMUNOM, v. 3, n. 1, 2022.

GONÇALVES, M. T. et al. **Aplicações de sensores ambientais na aquicultura: revisão das tecnologias e suas vantagens.** Boletim do Instituto de Pesca, v. 48, 2022.

HERMES, L. C.; FAY, E. F.; BUSCHINELLI, C. C. DE A.; SILVA, A. S.; FRANÇA E LIMA, A. F.; RODRIGUES, A. P. O.; MACIEL, P. O. et al. **Small-scale fish farming in seasonal ponds in Brazil: technical and economic characterization.** Latin American Journal of Aquatic Research, v. 46, n. 2, p. 314–329, 2018. Disponível em:

<https://www.scielo.cl/pdf/lajar/v46n2/0718-560X-lajar-46-02-0314.pdf>. Acesso em: 09 jul. 2025

KUMAR, G.; ENGLE, C.; TUCKER, C. **Factors Driving Aquaculture Technology Adoption**. Journal of the World Aquaculture Society, [s. l.], v. 49, n. 3, p. 447–476, 2018.

KUROSKI, FELIPE. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE-FURG INSTITUTO DE OCEANOGRAFIA PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AQUICULTURA. 2022.

LIMA, A. F.; SILVA, A. P. da; RODRIGUES, A. P. O.; BERGAMIN, G. T.; TORATI, L. S.; PEDROZA FILHO, M. X.; MACIEL, P. O. **Qualidade da água: piscicultura familiar. Palmas: Embrapa Pesca e Aquicultura, 2013**. Cartilha, 8 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/972064/1/agua.pdf>. Acesso em: 09 jul. 2025.

MARTINAZZO, Claodomir Antonio; ORLANDO, Tailan. **Comparação entre três tipos de sensores de temperatura em associação com arduíno**. 2016.

MARTINS, F. S.; LOPES, R. M. **Monitoramento remoto em aquicultura: um estudo de caso sobre a adoção de tecnologias por pequenos produtores**. Revista Brasileira de Engenharia de Pesca, v. 13, n. 1, p. 77–89, 2020.

MAULINI, R.; SAHLINAL, D.; ARIFIN, O. **Monitoring of pH, ammonia (NH₃) and temperature parameters aquaponic water in the 4.0 revolution era**. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2022. p. 012087.

MENDES, L. DA S., FERREIRA, I. M., 2014. **Influência da sazonalidade na qualidade da água bruta no município de Ituiutaba - MG**. Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde, 10. 97-105.

MENEZES, M. D. et al. Algas Biorremediadoras: **Avaliação da eficiência na remoção de nutrientes em um sistema tipo Seeded Algal Turf Scrubber (sATS)**. 2024.

MONTEIRO, Lucas Nunes. **Sistema de monitoramento da qualidade da água em tempo real**. 2020.

MPA – MINISTÉRIO DA PESCA E AQUICULTURA. **Estratégias de inclusão produtiva para pequenos piscicultores: diagnóstico da informalidade e propostas de ação**. Brasília:

MPA, 2012. Disponível em:

http://www.researchgate.net/publication/2715124006_Estrategia_de_Inclusao_Produtiva_para_Pequeno_piscicultores. Acesso em: 09 jul. 2025

NUTER. Aquicultura 4.0: **benefícios da automação na produção aquícola**. Disponível em: <https://nuter.com.br/aquicultura-4-0-beneficios-da-automacao-naproducao-aquicola>. Acesso em: 9 de jul de 2025.

ONO, E.A.; KUBITZA, F. **Cultivo de peixes em tanques-rede**. 3.ed. Jundiaí, SP: Esalq –USP, 2003. 112 p

PACHECO, Dulcineves Ferreira et al. **Aplicação de IoT na automação de pequenas produções de Sabão Artesanal utilizando Sensor de temperatura DS18B20**. Brazilian Journal of Development, v. 11, n. 4, p. e78795-e78795, 2025.

PEIXE BR. Associação Brasileira da Piscicultura. **Anuário 2024 da Piscicultura Brasileira**. São Paulo: Peixe BR, 2024. Disponível em: <https://www.peixebr.com.br/anuario-2024>. Acesso em: 2 abr. 2025.

PETRUZELLA, F. D. **Controladores Lógicos Programáveis. 4.ed.**, Porto Alegre: Bookman, 2014.

PIRATOBA, Alba Rocio Aguilar et al. **Caracterização de parâmetros de qualidade da água na área portuária de Barcarena, PA**, Brasil. Revista Ambiente & Água, v. 12, n. 3, p. 435-456, 2017.

RIBEIRO, G. M.; MAIA, C. E.; MEDEIROS, J. F. **Uso da regressão linear para estimativa da relação entre a condutividade elétrica e a composição iônica da água de irrigação**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 09, n. 01, p. 15-22, 2005.

ROLLA, M. E.; MELLO, C. B. M.; SILVA, M. O. B.; GONÇALVES, S. M. R.; SOUZA, D. S. **Avaliação da variação diurna e sazonal de parâmetros limnológicos de água de tanques de piscicultura da estação de piscicultura de volta grande CEMIG, Uberaba-MG**. In: Simpósio Brasileiro de Aquicultura, 1996, sete Lagoas-MG. Resumos do 8 Simpósio brasileiro de aquicultura, 1996. p. 5.

SANTOS, Francisco Medeiros (coord.). **Anuário Peixe BR da Piscicultura 2023**. São Paulo: Associação Brasileira da Piscicultura – Peixe BR; Instituto de Pesca, 2023. 140 p. Disponível em: <https://www.peixebr.com.br/anuario-2023>. Acesso em: 1 jun. 2025.

SANTOS, G. L. et al. **Desenvolvimento de sistema de baixo custo para monitoramento de qualidade da água em piscicultura**. Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas, v. 16, n. 1, 2022.

SETYOBUDI, Ranu et al. **Utilização de sensores TDS para monitoramento da qualidade da água e filtragem de água de piscinas de carpas usando IoT**. EUREKA: Física e Engenharia, n. 6, p. 69-77, 2023.

SILVA, E. F. **Participação Comunitária em Monitoramento da Qualidade da Água**. Circular Técnica n. 08. Embrapa - Jaguariúna, SP - novembro, 2004. 8p. Disponível em: <<http://www.embrapa.gov.br>>. Acesso em: 02 jun. 2025

SILVA, F. A.; OLIVEIRA, R. R.; NASCIMENTO, F. M. **Aplicações da Internet das Coisas na piscicultura: uma revisão sistemática**. Revista Eletrônica Científica da UERGS, v. 7, n. 2, p. 45–58, 2021. Disponível em: <https://revistas.uergs.edu.br/index.php/cientifica/article/view/5479>. Acesso em: 09 jul. 2025.

SILVA, N. A. **Avaliação da Qualidade da Água do Efluente de Piscicultura na Bacia do Rio Cuiabá**. 80 f. Monografia (Graduação em Engenharia Sanitária) – Instituto de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá-MT, 2003.

SOUZA, R. F. de et al. **Tecnologias emergentes na produção animal: sensoriamento remoto e automação.** Revista Brasileira de Zootecnia, v. 49, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbz/>. Acesso em: 03 abril 2025.

SUWARDONO, Agus; PRAHESTI, Fidya E.; INDRAWATI, Elsa M.; ASHOFA, Moh. Abd Jalil. **IoT Based Catfish Farm Monitoring with ESP32 Microcontroller and DS18B20 Sensor.** Jurnal Sains dan Teknologi, Kediri, v. 13, n. 3, p. 508–516, out. 2024. doi:10.23887/jstundiksha.v13i3.85996.

TIWARI, S. et al. **Innovation of a Low-Cost Water Quality Monitoring System in Aquaculture Ponds.** *Journal of Scientific Research and Reports*, v. 30, n. 9, p. 616–623, 2024. DOI:10.9734/jsrr/2024/v30i92389.

TOIGO, VITOR HUGO. **Sistema automatizado de monitoramento da qualidade de água na piscicultura.** Revista Brasileira de Educação e Inovação da Univel (REBEIS), v. 1, n. 3, p. 8-27, 2022.

XAVIER PEDROZA FILHO, M.; CASTILHO, M. A. **Integration of small-scale fish farmers and processing industry in aquaculture value chain in Brazil.** Revista de Economia e Agronegócio, v. 18, n. 2, p. 1–17, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/rea/article/view/8755>. Acesso em: 09 jul. 2025.

ZAMORA, Ronaldi; HARMADI, Harmadi; WILDIAN, Wildian. Perancangan alat ukur **TDS (Total Dissolved Solid) air dengan sensor konduktivitas secara real time.** Jurnal Sainstek IAIN Batusangkar, v. 7, n. 1, p. 11-15, 2016.