

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA

FAUSTO CRISTIANO

**Sistema Autossuficiente de Monitoramento
Remoto de Qualidade da Água em Açudes para
Piscicultura**

São José - SC

Agosto/2024

SISTEMA AUTOSSUFICIENTE DE MONITORAMENTO REMOTO DE QUALIDADE DA ÁGUA EM AÇUDES PARA PISCICULTURA

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Telecomunicações do campus São José do Instituto Federal de Santa Catarina para a obtenção do diploma de Engenheiro de Telecomunicações.

Orientador: Prof. Carlos Boabaid Neto, Dr. Eng.

São José - SC

Agosto/2024

RESUMO

O presente trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema para monitoramento contínuo da qualidade da água na aquicultura, como foco na piscicultura, a criação de peixes em ambientes controlados. A implementação de sensores para monitoramento de parâmetros críticos como acidez, oxigênio dissolvido e temperatura busca não apenas garantir condições ideais para o crescimento saudável dos peixes, como também melhorar a eficiência da produção. Utilizar-se-á a tecnologia NB-IoT para a transmissão remota dos dados coletados para uma plataforma de análise visual (*dashboard*), permitindo ao produtor tomar decisões informadas e precisas para otimizar suas operações.

Palavras-chave: Piscicultura. Monitoramento. IoT. NB-IoT.

ABSTRACT

This work proposes the development of a continuous water quality monitoring system in aquaculture, focusing on pisciculture, the breeding of fish in controlled environments. The implementation of sensors to monitor critical parameters such as acidity, dissolved oxygen, and temperature aims not only to ensure ideal conditions for the healthy growth of fish but also to improve production efficiency. NB-IoT technology will be used for the remote transmission of collected data to a visual analysis platform (dashboard), enabling producers to make informed and precise decisions to optimize their operations.

Keywords: Pisciculture. Monitoring. IoT. NB-IoT.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Efeito da concentração de oxigênio dissolvido nos peixes	13
Figura 2 – Nível de pH na piscicultura	14
Figura 3 – <i>Low Power Wide Area (LPWA) market 2024</i>	16
Figura 4 – Aplicações <i>Narrowband Internet of Things (NB-IoT)</i>	17
Figura 5 – Arquitetura proposta	21
Figura 6 – Diagrama de Pinos LilyGo SIM7000G	23
Figura 7 – Dimensões da Placa LilyGo SIM7000G	23
Figura 8 – Sensor Oxigênio Dissolvido	24
Figura 9 – Sensor de pH	25
Figura 10 – Sensor de Temperatura	26
Figura 11 – Arquitetura da plataforma <i>Blynk: App, Server e Libraries</i>	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores ideais dos parâmetros	12
Tabela 2 – Tabela de Voltagem e pH	25
Tabela 3 – Cronograma de Atividades	28

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3GPP *3rd Generation Partnership Project.*

GPS *Global Positioning System.*

GSM *Global System for Mobile Communicationss.*

IoT *Internet of Things.*

LPWA *Low Power Wide Area.*

LTE *Long Term Evolution.*

LTE-M *Long Term Evolution for Machines.*

M2M *machine to machine.*

NB-IoT *Narrowband Internet of Things.*

OFDMA *Orthogonal frequency division multiple access.*

PH *Potencial Hidrogeniônico.*

SC FDMA *Single carrier frequency division multiple access.*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	Objetivos	10
1.1.1	Objetivo geral	10
1.1.2	Objetivos específicos	10
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	11
2.1	Piscicultura	11
2.1.1	Benefícios do Consumo de Peixe	11
2.1.2	Estatísticas de Produção e Consumo	11
2.2	Complexidade e Importância do Monitoramento	12
2.3	Qualidade da Água na Piscicultura	12
2.3.1	Oxigênio Dissolvido	12
2.3.2	Acidez	13
2.3.3	Alcalinidade	14
2.3.4	Temperatura	14
2.4	Internet das Coisas (<i>Internet of Things</i> (IoT)) na aquicultura	14
2.5	NB-IoT	15
2.6	Características Técnicas e Aplicações	15
2.6.1	NB-IoT em áreas rurais	17
2.7	Fonte de Energia	17
3	METODOLOGIA	19
3.1	Seleção e integração de sensores	19
3.2	Desenvolvimento de algoritmos	19
3.3	Sistema de transmissão de dados	19
3.4	Plataforma de compartilhamento de dados	19
3.5	Testes iniciais	20
3.6	Testes em ambiente real	20
4	PROPOSTA	21
4.1	Arquitetura do sistema	21
4.2	Componentes Utilizados	22
4.2.1	Placa de Desenvolvimento LilyGo SIM7000G	22
4.2.2	Sensor de Oxigênio Dissolvido	24
4.2.3	Sensor de Potencial Hidrogeniônico (pH)	24
4.2.4	Sensor de Temperatura	25

4.2.5	Plataforma <i>Blynk</i>	26
4.3	Cronograma	28
	REFERÊNCIAS	29

1 INTRODUÇÃO

A piscicultura, uma área da aquicultura, consiste na criação de peixes em ambientes controlados, como açudes, viveiros, tanques elevados, ou lagos. A criação dos peixes é totalmente controlada, desde o seu crescimento até a fase adulta, e a fase de estarem aptos para consumo. É uma atividade agrícola em plena expansão no Brasil, sendo responsável por uma parte importante da economia do mercado nacional. (TECHGROUND, 2023).

A piscicultura constitui-se numa excelente alternativa para micro e pequenos produtores, permitindo a geração de receita adicional com baixo impacto ambiental, auxiliando desta forma a fixação das pessoas no campo, e ao mesmo tempo ampliando a oferta ao mercado consumidor de um alimento de alta qualidade com preços acessíveis.

Para que uma produção ocorra de forma equilibrada, sustentável e rentável ao produtor, é extremamente necessário o conhecimento e interpretação prévios e de maneira a mais precisa possível dos valores dos parâmetros físicos e químicos que assegurem uma água de qualidade (SANTOS, 2018). Para este fim, é fundamental a implementação de sensoriamento dos ambientes aquáticos onde esteja sendo realizado o cultivo do pescado. A necessidade de monitoramento constante desses parâmetros faz com que o emprego de sistemas de medição remotos da qualidade da água esteja se tornando uma solução cada vez mais eficaz (AQUANATIVA, 2024). A integração de sensores e dispositivos IoT permite a coleta contínua de informações sobre os valores dessas variáveis, possibilitando o controle em tempo real e à distância.

A tecnologia de monitoramento remoto oferece aos produtores informações importantes sobre as condições do cultivo, permitindo a tomada de decisões baseadas nos valores dos parâmetros medidos. Esse nível de controle contribui para aumentar a produtividade, reduzir desperdícios e minimizar os custos operacionais.

Além disso, é importante que estas tecnologias possam ser implantadas a custos reduzidos, de forma a não prejudicar a rentabilidade da criação, e principalmente de forma a viabilizar sua implantação por pequenos e micro-produtores.

Em resumo, a adoção de novas tecnologias para o monitoramento da qualidade da água na piscicultura garante a saúde e o crescimento dos peixes, além de representar uma modernização na área rural. Essas inovações tecnológicas são essenciais para atender à crescente demanda pelo produto, manter a competitividade do preço ao consumidor e assegurar o lucro ao produtor.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Desenvolver um sistema autossuficiente, energizado por bateria e recarregado por energia solar, de monitoramento em tempo real da qualidade da água na piscicultura. Esse sistema utilizará sensores integrados à placa de desenvolvimento LilyGo SIM7000G (LILYGO, 2023) para a medição dos parâmetros físicos como pH, oxigênio dissolvido e temperatura, que irá transmitir os dados via NB-IoT para uma plataforma de análise.

1.1.2 Objetivos específicos

- identificar e selecionar os sensores adequados ao projeto;
- desenvolver uma solução de alimentação energética utilizando painéis solares;
- implementar um sistema de transmissão de dados via comunicação sem fio para monitoramento remoto;
- testar o sistema de medição, em laboratório e em campo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo tem o objetivo de apresentar e fundamentar os conceitos e tecnologias que serão utilizados no presente projeto, contextualizando e ilustrando seus objetivos.

2.1 Piscicultura

A piscicultura tem observado um crescimento significativo nos últimos anos, motivado pelo aumento do consumo de peixes no Brasil e no mundo. Esse aumento do consumo está associado à crescente conscientização sobre os benefícios de uma alimentação saudável (ROSA, 2021).

Com o aumento significativo na demanda pelo consumo de peixe, aumenta a necessidade de métodos de produção mais eficientes e sustentáveis. É neste contexto que a piscicultura ganha enorme importância (ROSA, 2021). Desde que bem planejado e manejado, o investimento em um dos vários ramos da aquicultura é quase uma garantia de sucesso, especialmente pelo custo de produção e ótimo retorno (AGRISHOW, 2024), e também contemplando vários dos objetivos de desenvolvimento sustentável no Brasil (ONU, 2024).

2.1.1 Benefícios do Consumo de Peixe

Dietas à base de carne branca são recomendadas por nutricionistas e médicos devido ao seu perfil nutricional mais favorável. Graças à grande variedade de minerais, vitaminas e nutrientes, o peixe ajuda a prevenir tanto enfermidades físicas, como doenças cardiovasculares, diabetes, osteoporose e câncer, quanto mentais, como depressão e ansiedade (UNIMED, 2021).

2.1.2 Estatísticas de Produção e Consumo

No Brasil, de 2014 a 2023, a produção saltou de 578.800 toneladas para 887.029, um aumento de 53,25%. A taxa média de crescimento anual foi de 5,325%. O aumento da produção nacional contribuiu para o aumento do consumo per capita de peixes de aquicultura no Brasil, que atualmente está em 4,35 kg/ano. Em 2023, o Brasil exportou 6.815 toneladas de peixes de aquicultura, gerando uma receita de US\$ 24,7 milhões. Esse resultado representa um aumento de 4% em relação a 2022 (CANALRURAL, 2023). Há a estimativa de que, até 2030, 60% dos peixes disponíveis para o consumo humano sejam produzidos em cativeiro (EMBRAPA, 2023).

2.2 Complexidade e Importância do Monitoramento

Por se desenvolver no ambiente aquático, a piscicultura pode ser considerada uma das atividades produtivas de maior complexidade. A água, como meio de cultivo, possui características químicas, físicas e biológicas que interagem de maneira individual e coletiva com todos os organismos vivos nela presentes, influenciando diretamente o desempenho da produção. Portanto, o monitoramento rigoroso da qualidade da água é essencial para o sucesso da piscicultura.

2.3 Qualidade da Água na Piscicultura

A qualidade da água é um fator que pode determinar o sucesso ou fracasso de uma operação de piscicultura. Um ambiente aquático bem monitorado e controlado favorece o metabolismo adequado dos peixes, resultando em uma produção mais eficiente e sustentável (EMBRAPA, 2017). A manutenção de condições ideais da água não só melhora a saúde dos peixes, mas também maximiza o retorno econômico para os produtores, reduzindo perdas associadas a doenças e mortalidades. Portanto, o monitoramento rigoroso e contínuo desses parâmetros é essencial para garantir a viabilidade econômica e a sustentabilidade ambiental da piscicultura (ROSA, 2021).

Parâmetros químicos como pH, oxigênio dissolvido, alcalinidade e parâmetros físicos como temperatura, possuem valores adequados para a piscicultura, conforme indicados na Tabela 1. Estes parâmetros tem relação direta com a presença de nutrientes e contaminantes na água, que tem influência direta na saúde e crescimento dos peixes.

Tabela 1 – Valores ideais dos parâmetros

Parâmetros	Medidas	Unidade
Temperatura	20 até 29	°C
pH	6 até 8	pH
Oxigênio Dissolvido	4 até 10	mg/L
Alcalinidade	20 até 300	mg/L

Fonte: Elaborada pelo autor.

Alguns dos parâmetros de maior significância para o controle da qualidade, e consequentemente, o maior controle da produção, são avaliados a seguir.

2.3.1 Oxigênio Dissolvido

O oxigênio dissolvido na água é a fonte principal de respiração dos peixes. Desta forma, é um dos parâmetros fundamentais para indicar a qualidade do ambiente aquático. O baixo nível de oxigênio na água levará à dificuldade de respiração dos peixes, o que pode ameaçar a vida desses animais, conforme indicado na Figura 1. Além disso, a concentração

de oxigênio afeta também a sobrevivência de vários outros organismos presentes na água, notadamente o fitoplâncton.

Figura 1 – Efeito da concentração de oxigênio dissolvido nos peixes



Fonte: EMBRAPA (2017)

Existem dois processos principais de geração de oxigênio dissolvido: por penetração direta do ar atmosférico na água, e por processo fotossintético pelo fitoplâncton (algas especiais). O nível de concentração de oxigênio dissolvido é inversamente proporcional à temperatura da água: quanto mais alta a temperatura, menor o nível de oxigênio presente (EMBRAPA, 2017).

2.3.2 Acidez

A água possui diversas substâncias dissolvidas que interagem através de processos biológicos, físicos e químicos, que irão determinar sua acidez, indicada pela medição do parâmetro **pH**. Este parâmetro é inversamente proporcional à quantidade de íons H^+ em uma solução, e serve para determinar, de forma simples e direta, os níveis de acidez ou alcalinidade da água. A escala de **pH** apresenta um intervalo de medição de 0 a 14, sendo 7 o valor neutro, ou seja, valores na faixa de 0 a 7 indicam uma solução ácida, e valores de 7 a 14 indicam uma solução alcalina.

Para garantir uma produção eficiente de peixes, é importante que a água mantenha um valor de **pH** equilibrado, evitando extremos de acidez ou alcalinidade. Açudes com água muito ácida ou alcalina precisam de um controle rigoroso do **pH** para assegurar o crescimento saudável dos peixes, apesar de ser um desafio mantê-lo em um nível próximo do ideal. Valores entre 7,0 e 8,3 são considerados ideais para piscicultura, mas é possível operar com níveis entre 6 e 9 sem prejudicar a qualidade da produção, conforme indicado na **Figura 2**. Os extremos de acidez ou alcalinidade que provocam mortandade em viveiros de peixes são, aproximadamente, $pH < 4$ e $pH > 11$ (EMBRAPA, 2020).

Figura 2 – Nível de pH na piscicultura



Fonte: EMBRAPA (2017)

2.3.3 Alcalinidade

A alcalinidade é capacidade da água de neutralizar ácidos, e a medição de alcalinidade indica a presença de sais minerais dissolvidos na água tais como os carbonatos de cálcio (CaCO_3), bicarbonatos (HCO_3), e hidroxila (OH), medidos em mg/L. Valores de alcalinidade entre 20 e 300 mg/L indicam quantidades adequadas desses sais minerais para a piscicultura orgânica que ajudam na formação do plâncton. (EMBRAPA, 2017)

2.3.4 Temperatura

A temperatura da água é um dos fatores biológicos mais importantes na cadeia produtiva da piscicultura, além de ser um dos mais difíceis de controlar devido às intempéries climáticas. Todas as atividades fisiológicas dos peixes, como respiração, digestão, excreção, alimentação e movimentação, estão diretamente relacionadas à variação da temperatura. À medida que a temperatura aumenta, a movimentação dos peixes também aumenta, resultando em um maior consumo de oxigênio dissolvido e um aumento no metabolismo. Em regiões de clima subtropical, as preocupações são maiores durante o verão, quando a temperatura da água pode levar a um consumo excessivo de oxigênio dissolvido. As medições de temperatura devem ser realizadas no fundo e na superfície do tanque, três vezes ao dia, para garantir um monitoramento adequado (EMBRAPA, 2020).

Existem estudos que correlacionam o sucesso da produção de determinadas espécies de peixes com os valores de temperatura da água. Conforme (BOKINGKITO; LLANTOS, 2017), a espécie Tilápia tolera uma ampla faixa de temperatura. A faixa ideal para o desenvolvimento, reprodução e crescimento normal é de 20 a 35 °C, com a faixa ótima para crescimento entre 24 e 32 °C. Tilápias param de se alimentar abaixo de 16 °C e não suportam temperaturas acima de 40 °C. Portanto, a temperatura da água deve ser mantida entre 20-35 °C para garantir o sucesso na produção.

2.4 Internet das Coisas (IoT) na aquicultura

A inclusão de tecnologia no agronegócio tem o potencial de contribuir para elevar a qualidade da produção, reduzindo perdas e diminuindo custos, o que, por sua vez,

aumenta a eficiência e conseqüentemente a competitividade do negócio. Neste contexto, é fundamental por exemplo implementar métodos automáticos para o monitoramento de parâmetros críticos em cada ramo específico.

A Internet das Coisas (IoT) visa a automação de processos por meio do uso de sensores, evitando atividades redundantes. No conceito de IoT, tarefas que antes exigiam intervenção humana podem ser realizadas de forma autônoma por sensores e dispositivos conectados. Segundo SANTOS et al. (2019), um sistema deste tipo é composto por dispositivos inteligentes que fornecem monitoramento, atuação e controle.

Neste projeto, o conceito é aplicado para o monitoramento e controle da qualidade da água na criação de peixes. Utilizar-se-ão sensores para medir e monitorar em tempo real variáveis físicas do ambiente aquático.

2.5 NB-IoT

NB-IoT, ou *Narrowband Internet of Things*, é uma tecnologia de comunicação sem fio projetada para conectar dispositivos à internet de forma eficiente e com baixo consumo de energia. Diferente das redes de celular convencionais que usamos em *smartphones*, o NB-IoT é otimizado para aparelhos que transmitem pequenas quantidades de dados periodicamente, como sensores de monitoramento em geral, medidores de água ou gás, e dispositivos de saúde. Utiliza menos espectro de rádio, resultando em um consumo de energia significativamente menor. Essa eficiência permite que dispositivos conectados por essa tecnologia, tenham uma vida útil de bateria de até 10 anos, sendo ideal para aplicações em áreas remotas ou com difícil acesso à energia elétrica. Oferece uma ampla cobertura de sinal, o que o torna essa tecnologia de comunicação sem fio eficaz em locais onde outras tecnologias não conseguem oferecer uma cobertura de sinal adequada para funcionamento (DIGIINTERNATIONAL, 2024)

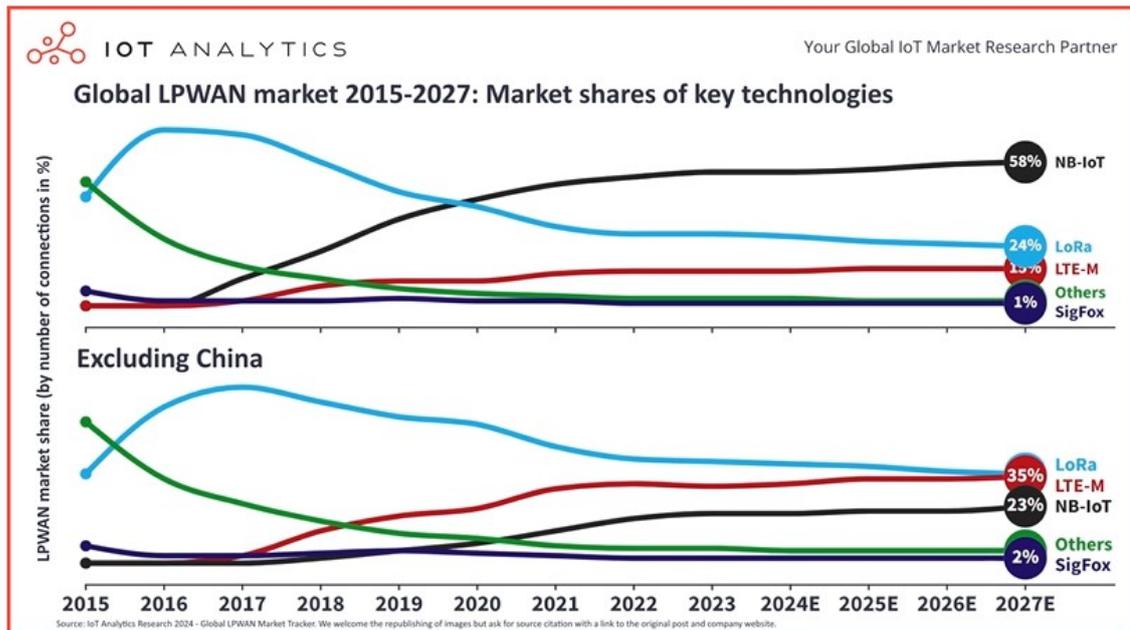
2.6 Características Técnicas e Aplicações

Foi desenvolvida pelo *3rd Generation Partnership Project* (3GPP) como alternativa das tecnologias sem fio ZigBee, Sigfox e LoRa. Usa uma extensão da rede *Long Term Evolution* (LTE) padrão, mas limita a largura de banda a uma única banda de 200 kHz. Utiliza modulação *Orthogonal frequency division multiple access* (OFDMA) para *downlink* e modulação *Single carrier frequency division multiple access* (SC FDMA) para *uplink*. Classificada como uma tecnologia de rede LPWA, é projetado para suportar dispositivos de IoT, oferecendo cobertura em áreas extensas com baixo consumo de energia.

Essa tecnologia utiliza a infraestrutura existente das operadoras de telecomunicações móveis. Destinada especificamente para equipamentos *machine to machine* (M2M)

e IoT, é ideal para a transmissão de pequenos pacotes de dados, como códigos binários e textos, sendo amplamente utilizada em aplicações de telemetria. Utiliza espectros de frequência licenciados, o que minimiza a interferência com outros dispositivos (UFRJ, 2021). De acordo com ANALYTICS (2024), o NB-IoT corresponde a 58% do total de conexões IoT no mundo, conforme ilustrado na Figura 3.

Figura 3 – LPWA market 2024

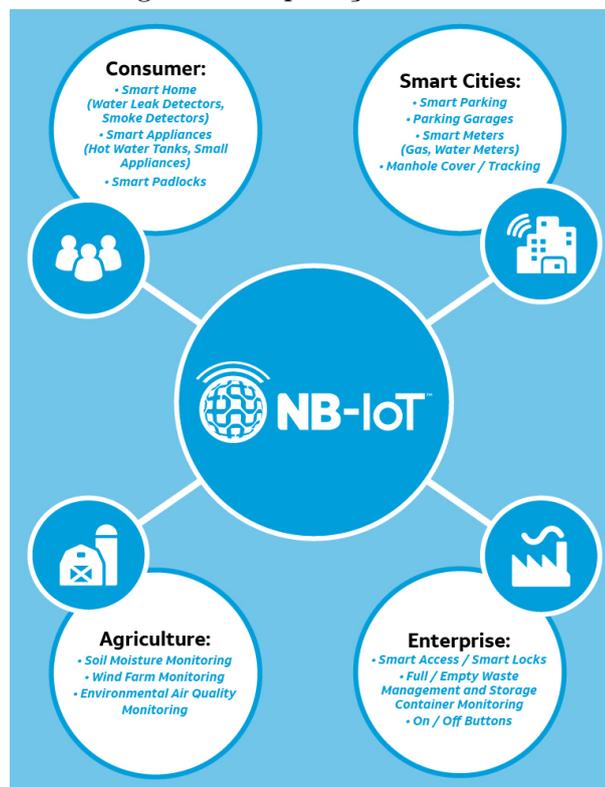


Fonte: ANALYTICS (2024)

NB-IoT se adapta bem ao projeto devido à sua adequação para aplicações onde o tempo de resposta não é crítico. Existem três cenários principais onde este protocolo é amplamente recomendado: controle de recursos como medidores de água, gás e eletricidade, *Smart Cities*, e dispositivos de sensoriamento remoto que não necessitam transmitir grandes volumes de dados. É particularmente adequado para dispositivos estáticos, não sendo recomendado para dispositivos em movimento, como rastreamento de veículos (DATATERM, 2022). A Figura 4 ilustra algumas áreas de aplicação dessa tecnologia.

Uma das principais vantagens do NB-IoT é sua capacidade de alcançar uma cobertura de 20 a 50 quilômetros com uma única torre de telecomunicações móvel (DATATERM, 2022).

Figura 4 – Aplicações NB-IoT



Fonte: AT&T (2019)

2.6.1 NB-IoT em áreas rurais

Com o aumento da competitividade na área agrícola, os produtores tem cada vez maior necessidade de elevar o aproveitamento máximo de suas produções. Com a chegada de novas tecnologias, faz-se cada vez mais necessária a transformação para uma agricultura digital.

Para possibilitar essa transformação, o sensoriamento com IoT utilizando tecnologias de comunicação sem fio é uma tendência crescente. Uma das tecnologias que estão ganhando maior representatividade neste cenário é o NB-IoT, que permite a transmissão de dados com estabilidade e longo alcance, além da conexão de um grande número de dispositivos sempre com a mesma qualidade. (CONECTARAGRO, 2021).

2.7 Fonte de Energia

Para garantir que o sistema de monitoramento remoto funcione de maneira autônoma e contínua, especialmente em áreas remotas, a alimentação de energia é um aspecto

crítico. O uso de baterias recarregáveis por energia solar tem o potencial de garantir a operacionalidade do sistema, e será empregado no presente projeto.

O recarregamento da bateria será realizado por módulos fotovoltaicos, dispositivos que captam a energia do Sol e a convertem em energia elétrica por meio de células fotovoltaicas, utilizando o efeito fotovoltaico para transformar a luz solar diretamente em eletricidade. Estes módulos são projetados para maximizar a captação de energia ao longo do dia, mesmo em condições de luz solar indireta ou parcial (SEIA, 2022). Em regiões remotas onde o acesso à rede elétrica pode ser limitado ou inexistente, os módulos permitem que o sistema de monitoramento opere de forma autônoma, eliminando a necessidade de conexões à rede elétrica.

A energia coletada pelos módulos fotovoltaicos será armazenada na bateria acoplada à placa de devolvimento (LILYGO, 2023), garantindo que o sistema possa continuar operando durante a noite ou em dias nublados, quando a captação de energia solar é reduzida.

3 METODOLOGIA

Será realizada uma revisão da literatura sobre tecnologias disponíveis para *hardware* e comunicação sem fio em ambientes rurais, onde se concentra a maior parte da produção de piscicultura. A revisão também cobrirá os parâmetros ideais para garantir a qualidade da água.

3.1 Seleção e integração de sensores

A seleção dos sensores adequados é de fundamental importância para o sucesso do projeto. Além da confiabilidade e robustez, o consumo de energia dos sensores também é um fator importante a ser avaliado, dado que o sistema deverá operar de maneira autossuficiente em termos de alimentação de energia. Também será levado em consideração o aspecto de custo.

Os procedimentos de verificação/calibração destes sensores também serão importantes, de forma a garantir a confiabilidade das medições. Para a calibração, serão utilizados pontos fixos conhecidos, ou comparação com sistemas de medição de referência.

3.2 Desenvolvimento de algoritmos

O desenvolvimento dos algoritmos necessários ao sistema será realizado com a linguagem de programação C, utilizando bibliotecas *Open Source*, fornecidas pelos fabricantes dos sensores. Serão desenvolvidos códigos para leitura dos sensores, calibração, e envio dos dados por tecnologia [NB-IoT](#).

3.3 Sistema de transmissão de dados

Após a coleta dos dados pelos sensores, estes serão enviados por meio de comunicação sem fio, utilizando a tecnologia [NB-IoT](#). Essa tecnologia utiliza a infraestrutura da rede das operadoras de telefonia celular.

3.4 Plataforma de compartilhamento de dados

Para o monitoramento remoto, é fundamental que os dados coletados pelo sistema possam ser acessados de maneira fácil e rápida. Será selecionada uma plataforma de dados adequada, de fácil acesso pelos usuários, que permita a observação não só dos

valores instantâneos das variáveis de interesse, mas também do histórico de evolução destas variáveis ao longo do tempo.

Também é recomendável que a própria plataforma disponibilize uma interpretação dos dados, identificando por exemplo se os valores das grandezas físico-químicas monitoradas estão dentro de sua faixa aceitável, gerando alertas quando os valores extrapolarem os limites, ou ainda se há tendência de que os valores extrapolarem os limites.

3.5 Testes iniciais

O sistema será inicialmente testado nos laboratórios do campus São José do IFSC, onde a funcionalidade do sistema será validada. Serão avaliados, entre outros parâmetros, a incerteza de medição das variáveis físicas, a capacidade de armazenamento e transmissão dos dados, e a eficácia do sistema de alimentação elétrica.

3.6 Testes em ambiente real

Após a validação, este será implantado em um sistema de piscicultura real, para testes práticos de monitoramento contínuo das condições ambientais. Será realizada a análise do desempenho do sistema, avaliando-se sua confiabilidade e robustez.

4 PROPOSTA

Neste capítulo, será apresentada a metodologia para o desenvolvimento da solução proposta: o monitoramento da qualidade da água voltado para a piscicultura, com base em parâmetros químicos, como pH, oxigênio dissolvido, e parâmetros físicos, como temperatura.

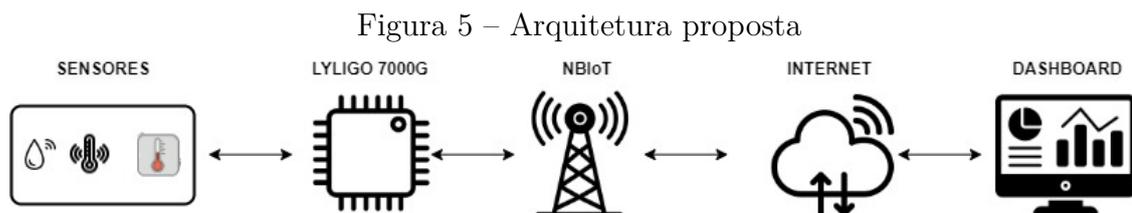
Será implementado um sistema autônomo de energia, utilizando baterias recarregáveis por energia solar. Além disso, será incorporado um sistema de comunicação sem fio baseado na tecnologia NB-IoT.

O sistema transmitirá os valores obtidos por esses sensores via comunicação sem fio para uma plataforma *dashboard*, onde o produtor poderá tomar decisões informadas e obter *insights* sobre sua produção.

A falta de um produto semelhante e de baixo custo no mercado nacional motivou o interesse em abordar este tema, buscando preencher essa lacuna e proporcionar uma ferramenta inovadora e eficaz para os piscicultores.

4.1 Arquitetura do sistema

A arquitetura do sistema, ilustrada na Figura 5, tem como ponto de partida a aquisição dos valores dos parâmetros da qualidade da água pelos sensores. Estes dados são enviados para a placa de desenvolvimento Lilygo SIM7000G, que possui um microcontrolador ESP32 responsável pelo processamento das informações coletadas. Após o processamento, os dados são transmitidos através do módulo NB-IoT integrado na placa de desenvolvimento. Os dados transmitidos são então recebidos por uma plataforma de *dashboard*, que apresenta as informações de forma visual e permite ao produtor monitorar os parâmetros em tempo real, facilitando a tomada de decisões informadas sobre a gestão da piscicultura.



Fonte: Elaborada pelo Autor

4.2 Componentes Utilizados

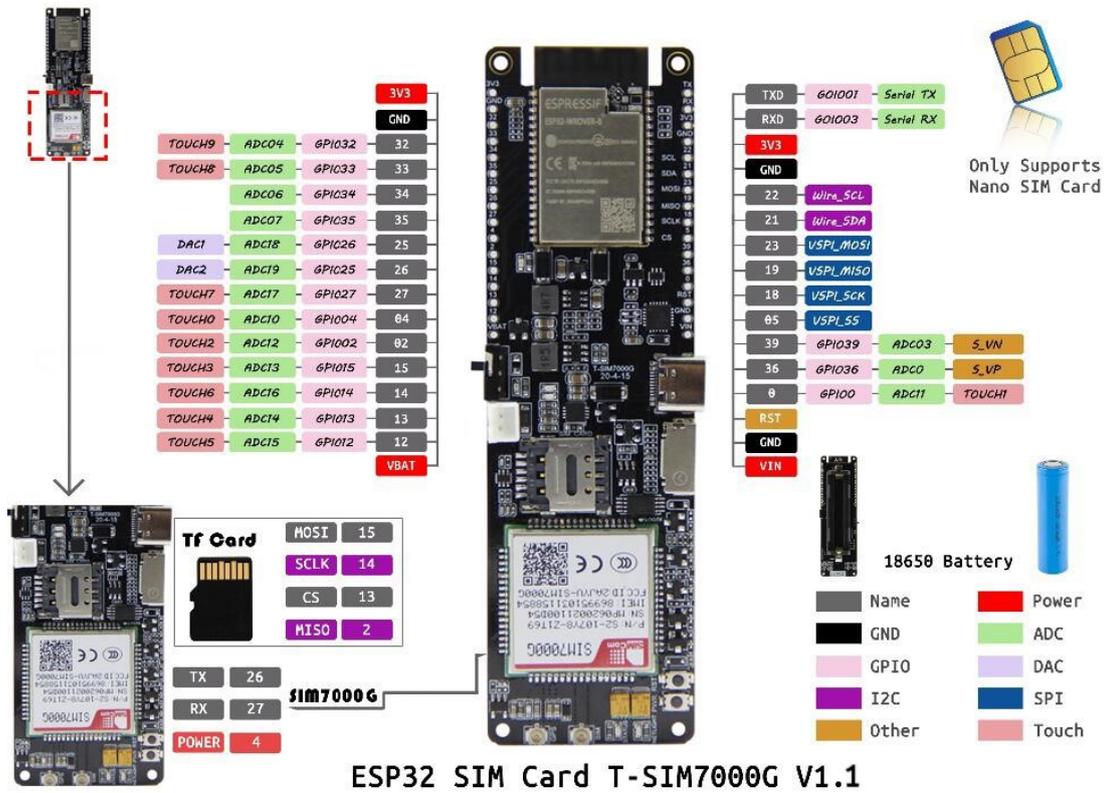
Para o desenvolvimento e implementação do sistema de monitoramento da qualidade da água na piscicultura, serão utilizados os seguintes componentes:

4.2.1 Placa de Desenvolvimento LilyGo SIM7000G

A placa de desenvolvimento LILYGO® SIM7000G foi escolhida devido às suas características e funcionalidades. Ela integra um microcontrolador ESP32, conhecido por sua capacidade de processamento, juntamente com módulos NB-IoT, *Long Term Evolution for Machines* (LTE-M), *Global System for Mobile Communicationss* (GSM) e *Global Positioning System* (GPS), que facilitam a comunicação em áreas rurais e o rastreamento de localização, e também possui compatibilidade com módulo externo para uso da tecnologia Lora.

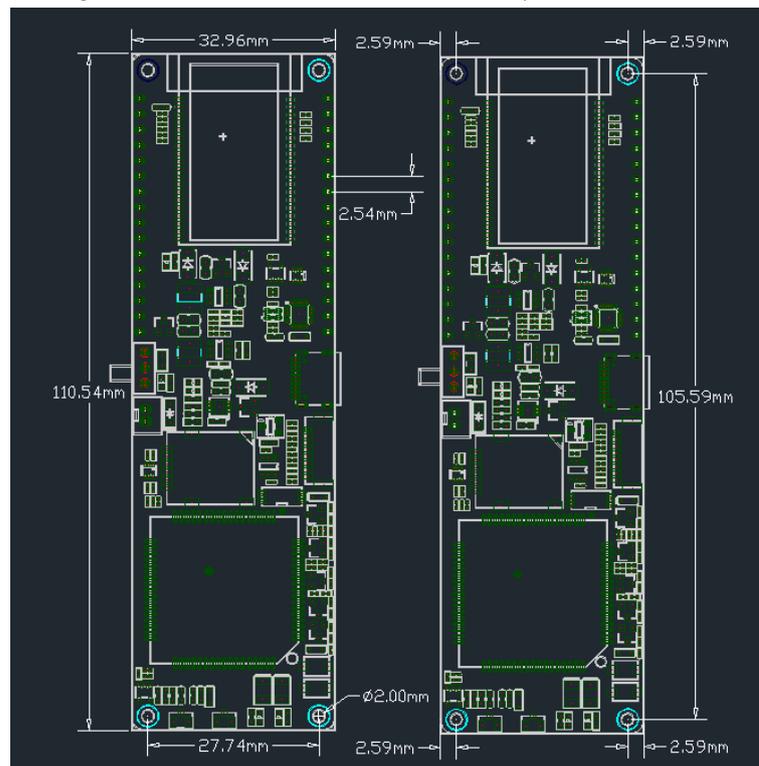
Uma das principais vantagens é o seu baixo consumo de energia, importante para aplicações de IoT que requerem operação contínua com fontes de energia limitadas. A placa inclui circuitos de carregamento e proteção de bateria integrados, garantindo a segurança e durabilidade da bateria. Possui uma interface de carregamento por energia solar (LILYGO, 2023). A capacidade de suportar baterias externas também aumenta a flexibilidade e a autonomia do sistema, tornando-o ideal para uma ampla gama de aplicações de IoT, especialmente em áreas de difícil acesso com cobertura de comunicação limitada, como no caso da piscicultura. A Figura 6 mostra o diagrama de entradas e saídas da placa, e na Figura 7 são indicadas suas dimensões.

Figura 6 – Diagrama de Pinos LilyGo SIM7000G



Fonte: LILYGO (2023)

Figura 7 – Dimensões da Placa LilyGo SIM7000G



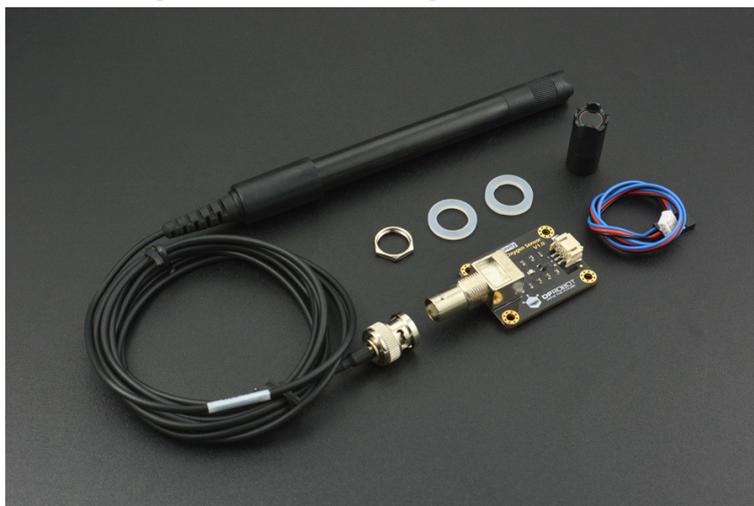
Fonte: LILYGO (2023)

4.2.2 Sensor de Oxigênio Dissolvido

O sensor SEN0237 (DFROBOT, 2020a) utiliza uma sonda galvânica para medir a concentração de oxigênio dissolvido em água, sem necessidade de tempo de polarização e, portanto, é capaz de medir a qualquer momento. Esse tipo de sonda opera com princípios eletroquímicos: dois eletrodos (ânodo e cátodo) imersos em um eletrólito e separados por uma membrana semipermeável reagem com o oxigênio presente na água.

O sensor possui uma faixa de detecção de 0 a 20 mg/L e opera em uma faixa de temperatura de 0 a 40°C. O tempo de resposta é de até 98% em 90 segundos a 25°C, garantindo medições rápidas. A sonda é adequada para condições de pressão variando de 0 a 50 PSI e tem uma vida útil do eletrodo estimada em aproximadamente 1 ano. A manutenção inclui a substituição da tampa da membrana a cada 1 a 2 meses em água lamacenta, e a cada 4 a 5 meses em água limpa, além da substituição da solução de enchimento uma vez por mês. Pode ser integrado com microcontrolador e possui código aberto. A Figura 8 ilustra o sensor e seus componentes. (DFROBOT, 2020a).

Figura 8 – Sensor Oxigênio Dissolvido



Fonte: DFROBOT (2020a)

4.2.3 Sensor de pH

O Gravity Analog pH Meter SEN0161 (DFROBOT, 2020b), mostrado na Figura 9, é um sensor projetado para medir o pH de uma solução, indicando sua acidez, alcalinidade ou neutralidade, e é amplamente utilizado em aquaponia, aquicultura e testes de água ambiental. Pode ser alimentado por tensão de 3,3 a 5,5V, sendo plenamente compatível com placas de desenvolvimento usuais. O sinal de saída é filtrado por hardware, reduzindo o ruído. Este sensor é compatível com microcontrolador Arduino e ESP32, e as bibliotecas de software compatíveis com estes microcontroladores é fornecida pelo fabricante, tornando a implementação rápida e direta, sem necessidade de soldagem ou modificações

adicionais.

Figura 9 – Sensor de pH



Fonte: DFROBOT (2020b)

A saída do eletrodo de pH é em milivolts, e a relação entre a tensão e o valor de acidez é indicado na Tabela 2. A sonda possui uma faixa de medição cobrindo toda a faixa (0 a 14), com incerteza de medição de $\pm 0,1$ à 25°C . A faixa de operação de temperatura é de 5 a 60°C . O ponto zero da sonda é $7 \pm 0,5$ e seu tempo de resposta é inferior a 2 minutos. A resistência interna da sonda é menor que $250\ \text{M}\Omega$.

Tabela 2 – Tabela de Tensão e pH

Voltage (mV)	pH Value	Voltage (mV)	pH Value
414.12	0.00	-414.12	14.00
354.96	1.00	-354.96	13.00
295.80	2.00	-295.80	12.00
236.64	3.00	-236.64	11.00
177.48	4.00	-177.48	10.00
118.32	5.00	-118.32	9.00
59.16	6.00	-59.16	8.00
0.00	7.00	0.00	7.00

Fonte: Elaborada pelo autor.

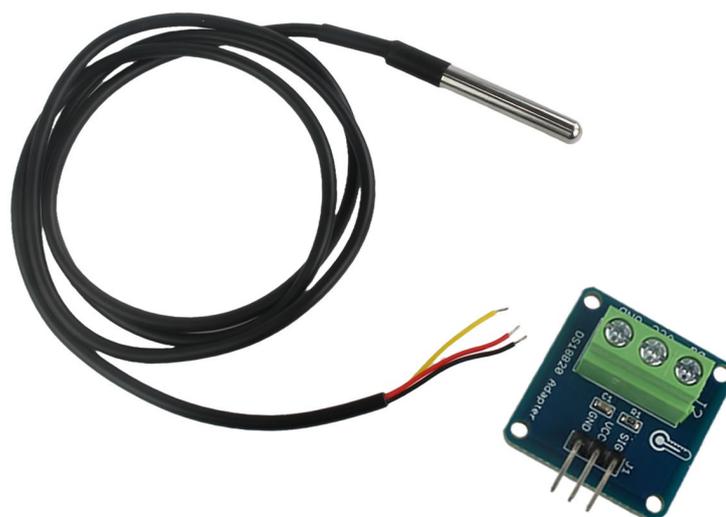
4.2.4 Sensor de Temperatura

O Sensor de Temperatura DS18B20, a prova d'água, é um dispositivo altamente preciso, compatível com Arduino, Raspberry Pi, ARM, ESP32. É equipado com comunicação via um único fio (*one wire*). A ponta metálica do sensor, ilustrada na Figura 10, é de aço inoxidável e possibilita a operação submersa.

Possui uma ampla faixa de leitura que vai de -55°C a $+125^{\circ}\text{C}$. A precisão é configurável: $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ para uma resolução de 9 bits, com um tempo de leitura de $93,75\ \text{ms}$. Para

faixas de temperatura mais restritas, a precisão melhora e o tempo de leitura aumenta: $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ com 9 bits, $\pm 0,25^{\circ}\text{C}$ com 10 bits (tempo de leitura de 187 ms), $\pm 0,125^{\circ}\text{C}$ com 11 bits (tempo de leitura de 375 ms), e $\pm 0,0625^{\circ}\text{C}$ com a resolução padrão de 12 bits (tempo de leitura de 750 ms) (USINAINFO, 2023).

Figura 10 – Sensor de Temperatura

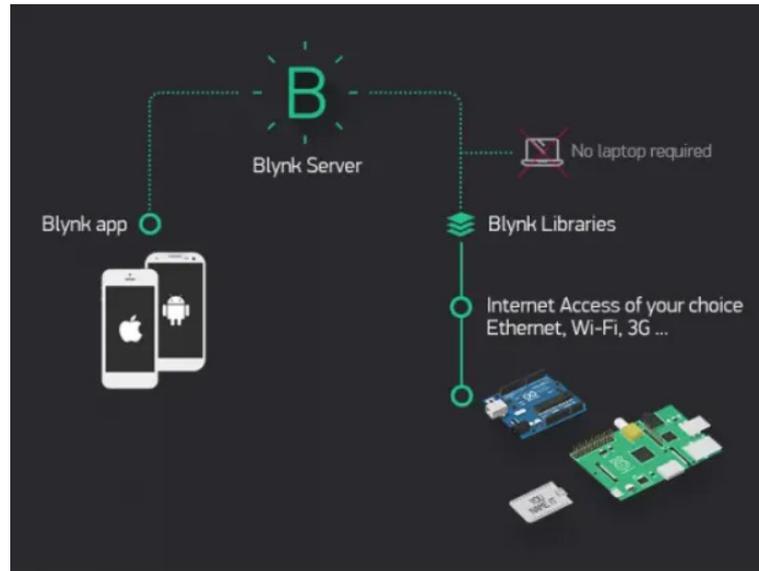


Fonte: UsinaInfo (2023)

4.2.5 Plataforma *Blynk*

Blynk é uma plataforma de monitoramento e controle de *hardware* programável, com ênfase em IoT que facilita a criação de interfaces para monitoramento e controle remoto de dispositivos conectados. Oferece uma interface de usuário através de um aplicativo, e uma *dashboard* na web. *Blynk* suporta uma ampla gama de hardware, incluindo microcontroladores populares como ESP32, Arduino e Raspberry. A plataforma é composta por três componentes principais: *Blynk App*, *Blynk Server* e *Blynk Library*, conforme ilustrado na Figura 11 (EMBARCADOS, 2018). As principais funcionalidades da plataforma são: a criação de *wigets* customizáveis, comunicação em tempo real e automações.

Neste projeto, a plataforma será utilizada para criar uma interface de usuário intuitiva que permita aos produtores acompanhar os valores dos parâmetros críticos. A integração com o microcontrolador LilyGo SIM7000G permitirá que os dados coletados pelos sensores sejam enviados para o *Blynk Server* e exibidos no *Blynk App e Web*.

Figura 11 – Arquitetura da plataforma *Blynk: App, Server e Libraries*

Fonte: EMBARCADOS (2018)

4.3 Cronograma

Tabela 3 – Cronograma de Atividades

Mês	Atividade
Setembro/2024	- Definição do escopo do projeto - Desenvolvimento do projeto - Aquisição de componentes
Outubro/2024	- Montagem do protótipo - Testes preliminares
Novembro/2024	- Ajustes e melhorias no protótipo - Implementação de sensores e NB-IoT - Testes de validação
Dezembro/2024	- Testes de campo
Janeiro/2025	- Análise de dados coletados - Redação da primeira versão do relatório
Fevereiro/2025	- Revisão do relatório - Preparação para a apresentação - Apresentação final

REFERÊNCIAS

- AGRISHOW. *Aquicultura: vale a pena começar uma produção?* 2024. Disponível em: <https://digital.agrishow.com.br/pecuaria/aquicultura-vale-pena-comecar-uma-producao>. Acesso em: 08 julho 2024. 11
- ANALYTICS, I. *LPWAN market 2024*. 2024. Disponível em: <https://iot-analytics.com/lpwan-market/>. Acesso em: 28 julho 2024. 16
- AQUANATIVA. *MONITORAMENTO EM TEMPO REAL DE CARGAS e VIVEIROS na Piscicultura: pH, Nitrogênio, Oxigênio Dissolvido e Temperatura*. 2024. Disponível em: <https://www.aquanativa.com.br/aplicacoes/monitoramento-piscicultura-tempo-real.html>. Acesso em: 08 julho 2024. 9
- AT&T. *ATT ilumina rede NB-IoT nos EUA*. 2019. Disponível em: https://about.att.com/innovationblog/2019/04/nbiot_network_live.html. Acesso em: 28 julho 2024. 17
- BOKINGKITO, P. B.; LLANTOS, O. E. Design and implementation of real-time mobile-based water temperature monitoring system. *Procedia Computer Science*, v. 124, p. 698–705, 2017. ISSN 1877-0509. 4th Information Systems International Conference 2017, ISICO 2017, 6-8 November 2017, Bali, Indonesia. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050917329757>. 14
- CANALRURAL. *Piscicultura brasileira cresce 3,1% em 2023*. 2023. Disponível em: <https://www.canalrural.com.br/aves-e-suinos/peixes/piscicultura-brasileira-cresce-31-em-2023/>. 11
- CONNECTARAGRO. *Aplicações do NB-IoT na área agrícola*. 2021. Disponível em: <https://blog.conectaragro.com.br/como-funciona-e-caracteristicas-do-nb-iot/>. Acesso em: 28 julho 2024. 17
- DATATERM. *NB-IoT e CAT-M1: Os poderosos protocolos de comunicação entre máquinas*. 2022. Disponível em: <https://datatem.com.br/nb-iot-e-lte-m/>. Acesso em: 28 julho 2024. 16
- DFROBOT. *Sensor de Oxigênio Dissolvido*. 2020. Disponível em: https://wiki.dfrobot.com/Gravity__Analog_Dissolved_Oxygen_Sensor_SKU_SEN0237. Acesso em: 25 julho 2024. 24
- DFROBOT. *Sensor de pH*. 2020. Disponível em: https://wiki.dfrobot.com/Gravity__Analog_pH_Sensor_Meter_Kit_V2_SKU_SEN0161-V2. Acesso em: 04 agosto 2024. 24, 25
- DIGIINTERNATIONAL. *What Is NB-IoT? Narrowband IoT Applications*. 2024. Disponível em: <https://www.digi.com/blog/post/nb-iot>. Acesso em: 08 agosto 2024. 15
- EMBARCADOS. *Introdução ao Blynk*. 2018. Disponível em: <https://embarcados.com.br/introducao-ao-blynk-app/>. Acesso em: 24 julho 2024. 26, 27

EMBRAPA. *A Importância de Monitorar a Qualidade da Água na Piscicultura*. 2017. Accessed: 31 Julho 2024. Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/1354377/1752280/Import%C3%A2ncia+Monitorar+Qualidade+%C3%81gua+Piscicultura.pdf/d685903a-b6b0-473f-9bce-2d14387b00e0?version=1.0>. 12, 13, 14

EMBRAPA. *Manual de qualidade da água para aquicultura*. 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/1354377/1743436/Manual+Qualidade+%C3%81gua+Aquicultura.pdf/674c0a9a-2844-43e2-9462-04fddd387529?version=1.0#:~:text=%2D%20Quanto%20mais%20alta%20for%20a,em%20%C3%A1guas%20com%20menos%20Oxig%C3%AAnio>. Acesso em: 31 julho 2024. 13, 14

EMBRAPA. *Publicação aborda o manejo alimentar na piscicultura*. 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/77900637/publicacao-aborda-o-manejo-alimentar-na-piscicultura#:~:text=A%20publica%C3%A7%C3%A3o%20cita%20uma%20estimativa,sobre%20a%20produ%C3%A7%C3%A3o%20de%202020>. Acesso em: 01 julho 2024. 11

LILYGO. *LilyGO-T-SIM7000G*. 2023. Disponível em: <https://github.com/Xinyuan-LilyGO/LilyGO-T-SIM7000G>. Acesso em: 08 julho 2024. 10, 18, 22, 23

ONU, B. *Como as Nações Unidas apoiam os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil*. 2024. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 08 julho 2024. 11

ROSA, T. *Benefícios socioeconômicos da piscicultura para a sociedade brasileira*. 58 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) — Faculdade de Medicina Veterinária, UniAGES, Paripiranga, 2021. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/20451>. 11, 12

SANTOS, C. C. d. A. d. *Parâmetros da qualidade de água na piscicultura de água doce*. 39 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) — Faculdade de Agronomia e Zootecnia, UFMT, Cuiabá, 2018. Disponível em: <http://bdm.ufmt.br/handle/1/124>. 9

SANTOS, I. B. dos 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 / automation of agrobusiness processes aided by the internet of things (iot): Design and implementation of an iot gateway on the arduino platform to simplify the automation of aquaculture. *Brazilian Journal of Development*, v. 5, n. 11, p. 26983–27004, Nov. 2019. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/4899>. 15

SEIA. *Solar Technologies*. 2022. Disponível em: <https://www.seia.org/initiatives/solar-technologies>. Acesso em: 04 agosto 2024. 18

TECHGROUND. *Piscicultura: tudo o que você precisa saber sobre esse ramo no Brasil*. 2023. Disponível em: <https://techground.com.br/piscicultura-tudo-o-que-voce-precisa-saber-sobre-esse-ramo-no-brasil/#:~:text=A%20piscicultura%20no%20Brasil%20%C3%A9,mais%20consome%20peixe%20no%20mundo>. Acesso em: 01 julho 2024. 9

UFRJ. *Motivos para incluir peixe na dieta*. 2021. Disponível em: <https://www.gta.ufrj.br/ensino/eel878/redes1-2023-1/trabalhos/Grupo20/#intro>. Acesso em: 28 julho 2024. 16

UNIMED. *Motivos para incluir peixe na dieta*. 2021. Disponível em: <https://www.unimed.coop.br/viver-bem/alimentacao/beneficios-de-consumir-peixes-regularmente>. Acesso em: 01 julho 2024. 11

USINAINFO. *Sensor de temperatura*. 2023. Disponível em: https://www.usinainfo.com.br/sensor-de-temperatura/sensor-de-temperatura-ds18b20-a-prova-d-agua-1m-com-adaptador-8687.html?search_query=sensor+de+temperatura&results=262. Acesso em: 04 agosto 2024. 26