

**FABIO CAVALCANTE BINATTI**

**AUTOMAÇÃO DA AERAÇÃO DE TANQUES ESCAVADOS DE  
TAMBAQUI VISANDO EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA AMAZÔNIA  
BRASILEIRA.**

**MANAUS – AM**  
**2022**

**FABIO CAVALCANTE BINATTI**

**AUTOMAÇÃO DA AERAÇÃO DE TANQUES ESCAVADOS DE  
TAMBAQUI VISANDO EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA AMAZÔNIA  
BRASILEIRA.**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Gestão de Processos, Sistemas e Ambiental - PPG.EGPSA, do Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia– ITEGAM, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

**Orientador:** Dr. Edson Farias de Oliveira

**MANAUS – AM  
2022**

**FABIO CAVALCANTE BINATTI**

**AUTOMAÇÃO DA AERAÇÃO DE TANQUES ESCAVADOS DE TAMBAQUI  
VISANDO EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA AMAZÔNIA BRASILEIRA**

Esta dissertação foi julgada e aprovada para a obtenção do título de Mestre do Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Gestão de Processos, Sistemas e Ambiental do Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia – ITEGAM.

Manaus-AM, 19 de agosto de 2022.



**Prof. Dr. Jandecy Cabral Leite**  
Coordenador do PPG.EGPSA - ITEGAM

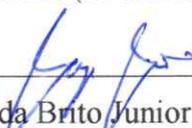
**BANCA EXAMINADORA**



Prof. Dr. Edson Farias de Oliveira  
Orientador (PPG.EGPSA/ITEGAM)



Prof. Dr. Jandecy Cabral Leite  
Examinador Interno (PPG.EGPSA/ITEGAM)



Prof. Dr. Jorge de Almeida Brito Junior (PPG.EGPSA/ITEGAM)  
Examinador Interno (PPG.EGPSA/ITEGAM)



Prof. Dr. Carlos Alberto Oliveira de Freitas  
Examinador Externo (UFAM)

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**Sistema de Biblioteca do ITEGAM**

---

Binatti, Fabio Cavalcante, 2022 - AUTOMAÇÃO DA AERAÇÃO DE TANQUES ESCAVADOS DE TAMBAQUI VISANDO EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA AMAZÔNIA BRASILEIRA. / Fabio Cavalcante Binatti - 2022. 65 f., il: Colorido

Orientador: Dr(a). Edson Farias de Oliveira

Dissertação: Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia, Programa de Pós Graduação em Engenharia, Gestão de Processos, Sistemas e Ambiental (PPG-EGPSA), Manaus - AM, 2022.

1. Piscicultura 2. Agronegócio 3. Qualidade da água 4. Otimização de processo 5. Hardware livre

CDD - 1002.ed.2022.23

---

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer a minha família, e em especial a minha esposa Cristiane Krug por todo apoio e orientação durante esta caminhada, também não poderia deixar de expressar a minha gratidão a todos os professores que compartilharam comigo conhecimentos e experiências durante o período de desenvolvimento deste trabalho. Este projeto também teve uma grande contribuição de Roger Crescêncio que nos apresentou os empresários e produtores Paulo Renato Formentin Lopes e Luiz Elder Bonfá, proprietários das fazendas onde o projeto foi desenvolvido. Agradecemos também a Cristiane Krug, Jony K. Dairiki e Carlos Freitas pela leitura e críticas ao manuscrito.

*Epígrafe*

“Em algum lugar, algo incrível está esperando  
para ser descoberto (Carl Sagan)”

### *Dedicatória*

Aos meus pais Claudemir e Jodimar, irmãos Janaina e Junior, avó Maria, minha esposa Cristiane Krug, e a todos que contribuíram para que eu vencesse mias esta etapa do meu desenvolvimento.

## RESUMO

BINATTI, Fabio Cavalcante. **ESTAÇÃO AUTÔNOMA DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE TANQUE ESCAVADO DE PISCICULTURA**. 2022. 65 Folhas. Dissertação do programa de pós-graduação em Engenharia, Gestão de Processos, Sistemas e Ambiental (EGPSA), Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia (ITEGAM), Manaus, 2022.

O aumento na demanda de pescado, coloca em evidência o potencial aquícola da Amazônia brasileira. O elevado custo da energia elétrica, falta de técnicos e inexistência de controle contínuo dos parâmetros de qualidade da água, são alguns dos fatores que dificultam o crescimento desta atividade. Foram avaliadas duas oportunidades de automação e otimização em criações comerciais de tambaqui em tanque escavados no estado do Amazonas, Brasil. A primeira, é o controle e registro manual das propriedades físico-químicas da água, a segunda, o elevado consumo de energia elétrica pelos aeradores. Sendo assim desenvolvemos o monitoramento contínuo dos parâmetros de qualidade da água, através da aferição automática, utilizando uma plataforma flutuante com sensores embarcados, que foi denominada estação experimental de monitoramento autônoma (EEMA), que controla a partida e desligamento dos aeradores conforme parâmetros estabelecidos, fornecendo oxigênio necessário para manutenção da vida dos peixes, eliminando desperdícios de energia elétrica e registrando os parâmetros avaliados. Como resultado, após integrar a EEMA em tanques escavados, foi possível reduzir 26% no consumo de energia elétrica para peixes adultos e 52% para peixes juvenis, além de registrar os valores de OD, pH e temperatura, gerando economia para o produtor e contribuindo para sustentabilidade da atividade na Amazônia.

**Palavras-Chave: Piscicultura, agronegócio, qualidade da água, Otimização de processo, hardware livre**

## ABSTRACT

BINATTI, Fabio Cavalcante. **AUTONOMOUS STATION FOR MONITORING THE WATER QUALITY OF EXCAVATED FISH CULTURE TANK**. 2022. 65 Sheets. Dissertation of the postgraduate program in Engineering, Process, Systems and Environmental Management (EGPSA), Galileo Institute of Technology and Education of the Amazon (ITEGAM), Manaus, 2022.

The increase in the demand for fish highlights the aquaculture potential of the Brazilian Amazon. The high cost of electric energy, lack of technical staff and inexistence of continuous control of water quality parameters are some of the factors that hinder the growth of this activity. We evaluated two opportunities for automation and optimization in commercial tambaqui farms in ponds in Amazonas state, Brazil. The first is the manual control and recording of physical-chemical properties of the water, and the second is the high consumption of electricity by the aerators. Thus, we developed a continuous monitoring of water quality parameters, through automatic gauging, using a floating platform with onboard sensors, which was called autonomous experimental station (AES), which controls the startup and shutdown of the aerators according to established parameters, providing oxygen necessary for maintaining fish life, eliminating electricity waste and recording the parameters evaluated. As result, after integrating the AES in excavated tanks, it was possible to reduce 26% in electric energy consumption for adult fish and 52% for juvenile fish, besides registering the values of DO, pH, and temperature, generating savings for the producer and contributing to the sustainability of the activity in the Amazon.

**Key-words:** Fish farming, agribusiness, water quality, process optimization, free hardware



## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 - Aerador de pá.....  | 29 |
| Figura 2 A - Aerador de aspersão; B - Hélice aerador de aspersão.....  | 29 |
| Figura 3 Aerador de aspersão em operação.....  | 30 |
| Figura 4 A - Soprador de ar; B - Difusor circular; C – Difusor estrela.....  | 30 |
| Figura 5 Vista detalhada do soprador de ar.....  | 31 |
| Figura 6 Vista explodida do painel solar.....  | 33 |
| Figura 7 Inversor off-grid.....  | 33 |
| Figura 8 Vista explodida da bateria de ácido.....  | 34 |
| Figura 9 Página inicial do IDE.....  | 36 |
| Figura 10 Plataforma de flutuação.....   | 38 |
| Figura 11 Quadro de comando.....   | 39 |
| Figura 12 Sonda de oxigênio dissolvido.....  | 39 |
| Figura 13 Fluxograma sonda de oxigênio.....  | 40 |
| Figura 14 Sonda de pH.....   | 40 |
| Figura 15 Fluxograma sonda de pH.....  | 40 |
| Figura 16 Sonda de temperatura.....  | 41 |
| Figura 17 Fluxograma sonda de temperatura.....   | 41 |
| Figura 18 Gerenciador de energia solar.....  | 42 |
| Figura 19 Fluxograma gerenciamento energia solar.....  | 42 |
| Figura 20 Expansão I / O.....  | 43 |
| Figura 21 Placa de controle POE.....   | 43 |
| Figura 22 A - Solução tampão; B - Placa de conversão do pH.....  | 45 |
| Figura 23 A - Solução tampão; B- Placa de conversão do pH.....   | 46 |
| Figura 24 Sonda de temperatura calibrando.....   | 46 |
| Figura 25 Esquema de Ligação.....  | 47 |
| Figura 26 Plataforma em operação no tanque.....  | 47 |
| Figura 27 Imagem de satélite da fazenda de piscicultura em Rio Preto da Eva, Amazonas<br>(coletas preliminares)..... | 50 |
| Figura 28 Imagem de satélite da fazenda de piscicultura em Rio Preto da Eva, Amazonas<br>(coletas finais).....       | 50 |

## **LISTA DE TABELAS**

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 Lista de materiais com valores e quantidades..... | 44 |
| Tabela 2 Modelo de captura dos dados .....                 | 51 |

## **LISTA DE SIGLAS**

OD – Oxigênio Dissolvido

pH – Potencial Hidrogeniônico

°C – Graus Celsius

EEMA – Estação experimental de monitoramento autônoma

AS – Aeração suplementar

AE – Aeração Emergencial

AC – Aeração Combinada

Kg – Quilograma

h – Horas

kW – Kilowatts

US\$ - Dólar

R\$ - Reais

## LISTA DE GRÁFICOS

|   |    |
|---|----|
| Gráfico 1 Oxigênio dissolvido tanque 04 .....   | 52 |
| Gráfico 2 Oxigênio dissolvido tanque 10 .....   | 52 |
| Gráfico 3 - Média de oxigênio dissolvido ao longo do dia demonstrando a entrada e saída da<br>aeração suplementar no tanque 08. Na linha tracejada o limite mínimo que o tambaqui resiste<br>de OD..... | 54 |
| Gráfico 4 - Média oxigênio dissolvido ao longo do dia demonstrando a entrada e saída da<br>aeração suplementar e aeração emergencial no tanque 08. ....   | 54 |
| Gráfico 5 - Gráfico da média de consumo em KWh dos aeradores do tanque 08 para os dois<br>cenários (com controle e sem controle).....   | 55 |
| Gráfico 6 - Média de oxigênio dissolvido ao longo do dia demonstrando a entrada e saída da<br>aeração suplementar no tanque 03.....   | 55 |
| Gráfico 7 - Média oxigênio dissolvido ao longo do dia demonstrando a entrada e saída da<br>aeração suplementar e aeração emergencial no tanque 03. ....   | 56 |
| Gráfico 8 - Média de consumo em KWh dos aeradores do tanque 03 para os dois cenários<br>(com controle e sem controle). ....   | 56 |
| Gráfico 9 - Média de temperatura ao longo do dia no tanque 03 e 08. ....  | 57 |
| Gráfico 10 - Média de pH ao longo do dia no tanque 03 e 08.....   | 57 |

## SUMÁRIO

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>CAPÍTULO 1</b> .....                                     | <b>19</b> |
| 1.       | INTRODUÇÃO .....  | 19        |
| 1.1.     | CONTEXTUALIZAÇÕES INICIAIS .....                            | 19        |
| 1.2.     | IDENTIFICAÇÃO E JUSTIFICATIVA DO PROBLEMA DE PESQUISA ..... | 20        |
| 1.3.     | OBJETIVOS .....   | 22        |
| 1.3.1.   | Objetivo geral .....  | 22        |
| 1.3.2.   | Objetivos específicos .....                                 | 22        |
| 1.4.     | CONTRIBUIÇÃO E RELEVÂNCIA DO ESTUDO .....                   | 22        |
| 1.5.     | DELIMITAÇÃO DA PESQUISA .....                               | 23        |
| 1.6.     | ESCOPO DA PESQUISA .....                                    | 23        |
| <b>2</b> | <b>CAPÍTULO 2</b> .....                                     | <b>24</b> |
| 2.       | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....                                 | 24        |
| 2.1.     | PISCICULTURA NO BRASIL .....                                | 24        |
| 2.2.     | PISCICULTURA NA AMAZÔNIA .....                              | 24        |
| 2.3.     | PARÂMETROS DA ÁGUA .....                                    | 25        |
| 2.3.1.   | Oxigênio dissolvido.....                                    | 25        |
| 2.3.2.   | Temperatura .....   | 26        |
| 2.3.3.   | Potencial hidrogeniônico.....                               | 27        |
| 2.4.     | AERADORES .....   | 28        |
| 2.4.1.   | Modelos de aeradores.....                                   | 28        |
| 2.4.2.   | Aerador de rodas de pá.....                                 | 28        |
| 2.4.3.   | Aerador de Aspersão.....                                    | 29        |
| 2.4.4.   | Aeração por difusores de ar .....                           | 30        |
| 2.5.     | ENERGIA ELÉTRICA.....                                       | 31        |
| 2.5.1.   | Energia elétrica no amazonas.....                           | 31        |
| 2.5.2.   | Energia solar fotovoltaica .....                            | 31        |

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 2.5.3. | Sistemas fotovoltaicos isolados (off-grid) ..... | 32 |
| 2.5.4. | Células fotovoltaicas.....                       | 32 |
| 2.5.5. | Inversor off-grid .....                          | 33 |
| 2.5.6. | Baterias.....                                    | 34 |
| 2.6.   | ARDUINO .....                                    | 34 |
| 2.7.   | SOFTWARE ARDUINO (IDE) .....                     | 36 |
| 3      | CAPÍTULO 3 .....                                 | 38 |
| 3.     | MATERIAIS E MÉTODOS.....                         | 38 |
| 3.1.   | CARACTERÍSTICAS DA ESTAÇÃO DE MONITORAMENTO..... | 38 |
| 3.1.1. | Plataforma de flutuação.....                     | 38 |
| 3.1.2. | Quadro de comando .....                          | 38 |
| 3.1.3. | Sonda de oxigênio dissolvido .....               | 39 |
| 3.1.4. | Sonda de pH.....                                 | 40 |
| 3.1.5. | Sonda de temperatura.....                        | 41 |
| 3.1.6. | Placa de gerenciamento solar .....               | 41 |
| 3.1.7. | Placa de expansão.....                           | 42 |
| 3.1.8. | Placa de controle.....                           | 43 |
| 3.2.   | LISTA DE MATERIAIS.....                          | 43 |
| 3.3.   | CALIBRAÇÃO E LIGAÇÃO .....                       | 44 |
| 3.3.1. | Oxigênio dissolvido.....                         | 44 |
| 3.3.2. | Potencial hidrogeniônico (pH).....               | 45 |
| 3.3.3. | Sonda de temperatura.....                        | 46 |
| 3.4.   | ESQUEMA DE LIGAÇÃO DOS COMPONENTES.....          | 46 |
| 3.5.   | METODOLOGIA.....                                 | 47 |
| 4      | CAPÍTULO 4 .....                                 | 51 |
| 4.     | RESULTADOS E DISCUSSÕES.....                     | 51 |
| 4.1.   | RESULTADOS PRELIMINARES.....                     | 51 |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>4.2. RESULTADOS .....</b>                 | <b>53</b> |
| <b>4.3. DISCUSSÃO .....</b>                  | <b>57</b> |
| <b>5 CAPÍTULO 5 .....</b>                    | <b>60</b> |
| <b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>          | <b>60</b> |
| <b>5.1. CONCLUSÕES.....</b>                  | <b>60</b> |
| <b>5.2. OPORTUNIDADE IDENTIFICADAS .....</b> | <b>60</b> |
| <b>REFERÊNCIAS.....</b>                      | <b>62</b> |

# CAPÍTULO 1

---

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. CONTEXTUALIZAÇÕES INICIAIS

Conforme recomendação da Organização Mundial da Saúde (OMS), todo ser humano deveria consumir no mínimo 12 kg de proteína de peixe per capita por ano, essa indicação contribui para melhorar a saúde e conseqüentemente a expectativa de vida das pessoas (WHO, 2003). Em razão desta orientação da OMS, que reflete o senso comum entre os especialistas de nutrição humana, a procura por alimentos derivados da aquicultura vem crescendo ano a ano. Com este aumento na demanda comercial pelo pescado, também surgiu uma nova demanda pela qualidade da proteína cultivada. Seguindo a tendência de mercado, a piscicultura racional tende a se tornar a forma predominante de cultivar pescado no mundo, devido ao fato de a pesca extrativista ser afetada por diversas variáveis, como estação ou período do ano, períodos de reprodução das espécies criadas, variação climática, disponibilidade de produto, dentre outros (FAO, 2014; MUIR & YOUNG, 1998).

A atividade aquícola no Brasil acompanha o crescimento do mercado mundial, estando atualmente entre os 15 maiores produtores de pescado do mundo (FAO, 2016). Os recursos disponíveis em território brasileiro, como hídrico, mão de obra e clima, aliados ao empreendedorismo brasileiro e uma alta procura por pescado no mercado interno resultam no crescimento desta atividade (CREPALDI et al., 2006; LIMA, 2005). A aquicultura é a segunda atividade mais praticada no meio rural (MPA, 2008), porém ela ainda é considerada uma atividade derivada do setor pesqueiro, entretanto, vem demonstrando comportamento agropecuário sendo praticada em todo o território nacional (SCORVO-FILHO, 2003).

A Região Norte é considerada uma das promessas do setor aquícola brasileiro, pois conta com grande abundância de água doce, diversidade de espécies e o maior consumo médio per capita de pescados do Brasil (SIDONIO et al., 2012). De fato, a piscicultura vem crescendo no cenário nacional, e de forma acentuada na Região Norte, tendo em vista que a oferta oriunda da pesca extrativista é insuficiente para suprir a demanda local. Sendo a piscicultura, dessa forma, uma alternativa para a oferta desse produto (ANJOS et al., 2015). O Amazonas foi o primeiro estado da região Amazônica a incentivar a piscicultura, com a criação do Programa de Desenvolvimento da Aquicultura na década de 80 (IDAM., 2011). Mas hoje a representação da

produção do Amazonas perante o mercado nacional não reflete as condições favoráveis da região, pois o estado ocupa a 18ª posição no ranking nacional de produção de peixe (PEIXEBR, 2020).

## 1.2. IDENTIFICAÇÃO E JUSTIFICATIVA DO PROBLEMA DE PESQUISA

Para garantir a vida das espécies criadas em cativeiro na piscicultura, é necessário o monitoramento e controle dos parâmetros físico-químicos da água, dentre eles o mais importante é a oxigenação da água, realizada através de aeração suplementar (AS) ou aeração de emergência (AE). (Kubitza 1998). Na AS os aeradores são ligados diariamente entre 21:00 e 07:00 e não há necessidade de monitoramento durante a madrugada, no modo AE os aeradores são ligados somente quando o oxigênio dissolvido está abaixo  $\leq 3,0$  mg/l, e se faz necessário o monitoramento do OD a cada duas horas durante a madrugada (Kubitza 1998, Tucker & Hargreaves 2008). A criação de peixes em tanques escavados, que são reservatórios construídos no solo e que necessitam de uma cobertura impermeabilizante, é o sistema mais utilizado na região norte do país. Atualmente os controles são feitos de modo manual e registrados em cadernetas ou planilhas, e os aeradores são ligados durante todo o período noturno, e, em dias nublados para suplementar a oxigenação da água. Entretanto, as concentrações de oxigênio dissolvido (OD) tendem a cair durante a noite e o período com maior criticidade está compreendido entre a meia noite e às sete horas da manhã (Boyd & Queiroz 2004, Tidwell 2012). Em condições de temperaturas normais (20°C a 28°C) o consumo de oxigênio dissolvido pelos peixes é de 300 mg de O<sub>2</sub>/kg peixe/ hora (Boyd & Tucker 1998). Os aeradores são empregados em decorrência de condições extremas de criação, como altas densidades de indivíduos, condições na qual os peixes consomem elevados níveis de OD (Minucci et al. 2005, Costa, 2012). Níveis baixos de concentração de OD nos tanques escavados de cultivo de tambaqui tem demandado investimentos na compra de equipamentos de aeração, com o objetivo de melhorar a homogeneização e suplementação de oxigênio na coluna d'água, além de, diminuir o estresse dos animais e aumentar os ganhos na produção (Minucci et al., 2005). Partindo destes princípios, entende-se que a AS exige em média 9 horas por dia de aeradores ligados para realizar adição de oxigênio na coluna d'água no período noturno e em dias nublados. Devido ao longo período de AS, cerca de 90% do valor do consumo de energia elétrica da produção de tambaqui em tanques escavados advém da utilização de aeradores, refletindo nos custos operacionais do empreendimento. Outro ponto importante é a manutenção da garantia da vida das espécies cultivadas, e para isso é necessário o controle adequado dos

parâmetros físico-químicos da água. O monitoramento dos parâmetros físico-químicos da água normalmente é realizado de forma manual no Amazonas, onde uma pessoa precisa coletar e testar as amostras periodicamente para decidir se intervém ou não no manejo. Em virtude desta atividade depender diretamente da variável humana, podem existir falhas inerentes a rotina de trabalho. A não medição dos parâmetros no momento adequado pode ocasionar perdas no ganho de peso do cultivo e até a mortalidade em massa das espécies cultivadas, pelo simples fato dos parâmetros estarem fora do adequado para o desenvolvimento e sobrevivência dos peixes. O objetivo desta pesquisa é desenvolver uma plataforma experimental de baixo custo para controle da qualidade da água com foco em reduzir o consumo de energia elétrica consumida na aeração dos tanques escavados de piscicultura sem afetar o desenvolvimento do tambaqui e auxiliar o produtor na coleta dos parâmetros da qualidade da água.

Após análise do sistema de produção da piscicultura em tanque escavado, foram identificadas duas oportunidades de melhorias utilizando automação que serão abordadas neste trabalho:

1. O monitoramento contínuo e automático das variáveis físico-químicas da água para garantir a segurança e manutenção da vida das espécies criadas em cativeiro, otimizando a utilização da capacidade máxima do tanque e auxiliando na redução do tempo para a despesca, através do controle destes parâmetros, também é possível reduzir o consumo de energia pois ao otimizar a produção otimizamos também o consumo;

2. O controle de oxigenação da lâmina d'água: através dos aeradores ligando e desligando automaticamente conforme os níveis de oxigenação da água são alterados, sendo está a atividade mais impactante na eficiência energética, economizando e otimizando o consumo de energia elétrica na propriedade rural.

A solução destes problemas ou pontos de melhoria poderá contribuir no aumento da produtividade, otimização dos recursos naturais e redução dos custos de produção, gerando impactos significativos para a sustentabilidade da cadeia produtiva do pescado regional na região amazônica.

### 1.3. OBJETIVOS

#### 1.3.1. Objetivo geral

Desenvolver uma estação experimental de monitoramento de qualidade da água de baixo custo, visando proporcionar maior eficiência energética e produtividade à criação de peixes em tanques escavados de piscicultura.

#### 1.3.2. Objetivos específicos

- Desenvolver uma estação de monitoramento automático e autônomo das variáveis: pH, temperatura e oxigênio dissolvido.
- Testar o modelo desenvolvido neste trabalho em tanques escavados de produção de peixe em larga escala.
- Reduzir o consumo de energia elétrica fornecida pela concessionária através da otimização da utilização dos aeradores.

### 1.4. CONTRIBUIÇÃO E RELEVÂNCIA DO ESTUDO

As técnicas tradicionais de manejo da piscicultura demandam quase que na sua totalidade de trabalhos manuais, podendo gerar desperdícios de recursos naturais e primários, pois não existe um monitoramento contínuo dos tanques de criação de modo a garantir a otimização da utilização do mesmo. As técnicas aplicadas a este trabalho foram de automatizar o controle do sistema de oxigenação da lâmina d'água, monitorando os parâmetros importantes do tanque que são essenciais para garantir a vida das espécies nele criadas, registrando todas estas variáveis para auxiliar em futuros estudos e padronizações metodológicas. Além disso, foi utilizada energia renovável para a alimentação de todo o sistema. A maioria dos estudos voltados para a piscicultura estão focados no conhecimento empírico, biológico, de manejo e nutricional, deixando uma grande lacuna a ser preenchida por este trabalho, que é contribuir com a tecnologia da automação e eficiência energética.

Como contribuição para a sociedade este trabalho entrega uma alternativa de controle de parâmetros e eficiência energética no campo da piscicultura, para academia ele vem a contribuir com uma robusta plataforma de coleta de dados para investigações de problemas e pesquisas futuras, e para a quarta revolução industrial um equipamento completamente integrável a operações da internet das coisas.

### 1.5. DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

Neste trabalho será desenvolvida uma estação experimental de monitoramento automático e autônomo com sensores de pH, temperatura e oxigenação, controlados através de uma plataforma de hardware livre, além de um sistema de controle para o acionamento e desligamento dos motores dos aeradores conforme parâmetros da água.

Para a construção da base de dados que serviu de auxílio nas investigações e estudos futuros será aplicada junto a lógica de programação da placa controladora o registro de todos os parâmetros captados pela estação de monitoramento a cada cinco minutos, estes dados serão armazenados em um cartão SD disponível no painel elétrico da estação.

### 1.6. ESCOPO DA PESQUISA

Pesquisa, desenvolvimento e construção de uma estação experimental de monitoramento automático e autônomo para utilização em tanques escavados de piscicultura, com foco em controle de parâmetros da lâmina d'água e otimização do consumo de energia elétrica dos aeradores. Não será abordado neste trabalho, o desenvolvimento de novos aeradores, mas sim a automatização e otimização dos já existentes.

## CAPÍTULO 2

---

### 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 2.1. PISCICULTURA NO BRASIL

O Brasil pode ser considerado um país privilegiado, por ter recursos, riquezas e o dimensionamento grande de suas bacias hidrográficas. A bacia do estado do Amazonas representa aproximadamente 20% da reserva de água doce do mundo. O país, além de ter uma imensa reserva de água doce, possui também um litoral com mais de oito mil quilômetros de extensão, viabilizando a prática da piscicultura (NUNES, 2015). A atividade da aquicultura brasileira pode ser dividida em seis tipos principais, definidas pela espécie a ser cultivada: peixes de água doce, camarão marinho, moluscos, ostras, camarão gigante de água doce e rãs. Peixes de água doce são o único cultivo desenvolvido em todos os estados da federação, representando 80% da produção, seguido de camarões de água doce, cultivado em vinte estados. Para as demais espécies, o cultivo só é possível de ser realizado em localidades que forneçam condições apropriadas para o desenvolvimento da espécie que se deseja cultivar (NUNES, 2015).

A produção da piscicultura é dividida em três sistemas, que são eles, extensivo, semi-intensivo e intensivo. O sistema extensivo ocorre através da exploração de açudes, lagoas, represas e outros mananciais, onde não existe fornecimento de alimento, monitoramento da qualidade da água e proteção contra predadores, já para o sistema semi-intensivo ocorre um suplementação da alimentação de forma artificial em conjunto com a natural para que se consiga uma maior produtividade, e no sistema intensivo, a alimentação é balanceada, os parâmetros de qualidade da água são monitorados, tanques na maioria das vezes dedicados para uma única espécie, protegido de predadores e utilização de aeradores para garantir a vida das espécies dentro do tanque em virtude da alta produtividade. (COLPANI, 2013). Dos três sistemas apresentados o sistema que mais vem sendo praticado na região amazônica é o sistema de produção intensivo, por conta da sua alta produtividade e maior controle da produção, proporcionando maior segurança para o empreendedor.

#### 2.2. PISCICULTURA NA AMAZÔNIA

A piscicultura iniciou como uma atividade de pouco interesse na Amazônia Ocidental durante o início dos anos 90. Tudo em virtude da abundância de peixes proporcionada pelos

rios, lagos e igarapés da região de maneira natural. Com o passar dos anos o consumo de pescado foi aumentando e este recurso natural oferecidos pelos rios da região passaram a se tornar cada vez mais difíceis de serem capturados, se tornando insuficientes para abastecer os mercados de grandes centros urbanos, como Manaus. Nesse momento de baixa oferta de peixe, a piscicultura passou a se destacar como uma forma de agronegócio rentável para a região.

Uma das principais espécies mais comercializadas na região amazônica é o tambaqui, por se tratar de um peixe de boa aceitação pelo consumidor e características zootécnicas desejáveis ao cultivo comercial, como crescimento relativamente rápido e rusticidade em condições de baixa qualidade de água (SAINT-PAUL, 1986).

### 2.3. PARÂMETROS DA ÁGUA

Os bons resultados da piscicultura advêm das condições da água e do solo onde foram escavados os tanques, sendo a qualidade da água e o volume de produção primário impactados por diversos parâmetros, bem como o desempenho produtivo da criação. As variações dos parâmetros da água afetam diretamente a saúde e as condições fisiológicas dos peixes que variam conforme a idade, espécie e tamanho. Os parâmetros mais importantes a serem monitorados para garantir a boa produção e a vida das espécies são, oxigênio dissolvido, pH, turbidez, temperatura e sólidos suspensos (URBINATI & CARNEIRO, 2004).

#### 2.3.1. Oxigênio dissolvido

O oxigênio na forma de gás transpassa para a água de modo contínuo por difusão da atmosfera e pela fotossíntese das plantas e algas, e este oxigênio produzido é utilizado pelas plantas para respirarem durante o período da noite devido à falta de luz para a realização da fotossíntese, também para a respiração dos animais que habitam o local além das bactérias aeróbicas, as quais consomem oxigênio durante a decomposição (ESTEVES, 1988; BOYD & TUCKER, 1998), facilitando a degradação aeróbica da matéria orgânica com metabólitos menos tóxicos para o cultivo (BAUMGARTEN, *et al.*, 1996). Além do consumo do oxigênio do tanque se dar pelos animais, plantas e degradação da matéria orgânica existente no local, existem outras formas de consumo do oxigênio dissolvido. A redução na concentração do oxigênio na água também se dá pela perda para a atmosfera e oxidação de íons metálicos como o ferro e manganês, o mínimo aceitável para o desenvolvimento do peixe é de 4,0 mg/l (ESTEVES, 1988).

O oxigênio dissolvido é um dos melhores indicadores da saúde do ecossistema aquático de cultivos. Nesses ecossistemas a quantidade de oxigênio dissolvido apresenta

variação ao longo das horas do dia, e esta correlacionado as condições climáticas e também a temperatura (VINATEA, 1997).

A demanda de oxigênio pelos organismos cultivados são diferentes entre as espécies, ao longo das fases de crescimento, com o estado nutricional e alimentar, com a quantidade de peixes por metro cúbico e com as condições do ambiente (ARANA, 2006). Períodos prolongados ou condições extremas de desequilíbrio no balanço de oxigênio dissolvido no ambiente de cultivo influenciam na ineficiência na conversão alimentar dos organismos criados, gerando crescimento tardio ou atrasado, tornando a criação vulnerável a doenças e mortalidade, conseqüentemente perdas financeiras para o empreendimento (TUCKER, 2005).

### **2.3.2. Temperatura**

É um parâmetro fundamental para produção de peixes em regiões tropicais, sendo que estes são peilotérmicos, ou seja, a temperatura do corpo do animal varia em função da temperatura da água do tanque. As espécies de peixes regionais da Amazônia, em geral, suportam temperatura de 22°C a 32°C, sendo o melhor desempenho de produtividade na faixa de 28°C a 30°C. As espécies que foram termo adaptadas padecem devido as alterações bruscas de temperatura da água (YAMAMOTO et al., 2014).

Em virtude do contato corporal e metabólico da espécie com a água, podem desenvolver reações diretas e indiretas transformando-se em mecanismo chave para a resistência e adaptação das espécies cultivadas às condições ambientais (OLIVEIRA & OLIVEIRA, 2014; RIBEIRO & MOREIRA, 2012). Segundo Sardella et al. (2004), a redução da temperatura, abaixo do ideal, provoca também maiores distúrbios osmorregulatórios do que a elevação da mesma. Já para Mazeud et al. (1977), as mudanças fisiológicas nos peixes em respostas às baixas temperaturas foram classicamente separadas em três fases: a primária envolve o sistema neuroendócrino com a liberação de catecolamina e ativação do eixo corticotropina-interrenal; a secundária envolve mudanças hematológicas, osmorregulatórias, enzimáticas e metabólicas do sangue; e a terciária inclui a inibição do crescimento, a redução da fecundidade, o aumento da suscetibilidade às infecções e mudanças comportamentais.

De acordo com Gomes et al. (2000) e Kubitzka (2009), quando a temperatura ultrapassa a faixa de conforto térmico, maior desvio energético ocorre para a captação de oxigênio, o que reflete em redução do crescimento. Para muitas espécies de peixes, a redução do incremento da taxa metabólica máxima deve-se à diminuição da concentração de oxigênio, com a elevação da temperatura.

Para se adequar a alimentação das espécies criadas, se faz necessário estudar os fatores que influenciam a ingestão dos alimentos fornecido, com grande relevância à temperatura, por desempenhar influência direta e, desta forma, auxiliar no dimensionamento da quantidade de alimento a ser fornecido, o horário de alimentação, o ritmo e a frequência de fornecimento da mesma (LOURES et al., 2008).

No momento em que os peixes atingem a sua temperatura corpórea ideal, ocorre o melhor aproveitamento do alimento fornecido para o peixe, liberando a energia necessária à multiplicação celular e ao crescimento (PIEDRAS et al., 2004).

A temperatura também influencia diretamente na saúde dos peixes criados em tanques, pois a criação de parasitas é potencializada caso a temperatura do tanque esteja favorável a este desenvolvimento. Ectoparasitas são agentes mais sérios e patogênicos para as larvas e alevinos. Em função da qualidade e temperatura da água, eles se reproduzem com maior velocidade, podendo levar a grandes perdas em uma piscicultura (ROBERT & SOMERVILLE, 1982).

### **2.3.3. Potencial hidrogeniônico**

O pH é um dos parâmetros químicos da água mais importante para a manutenção da vida das espécies criadas em cativeiro, auxiliando na garantia da saúde do animal proporcionando uma boa taxa de reprodução. A concentração de bases e ácidos na água, determinam o pH, e os peixes sobrevivem e crescem melhor em água com pH entre 6,0 e 9,0 (SILVA et al., 2001). Porém o ideal é que o pH fique entre 6,5 e 8,5, pois interfere principalmente em nível branquial, envolvido na regulação iônica e na manutenção do equilíbrio ácido-base dos peixes (FERREIRA, 2009; GRAEFF et al., 2007; MURGAS et al., 2012).

O pH pode ser entendido como sendo as concentrações de íons de hidrogênio presentes no meio, variando numa escala de 0 a 14 (SENA et al., 2015). Os valores padronizados de escala são utilizados para definir o meio como: básico, neutro ou ácido. Os valores menores que 07 indicam um meio ácido, o valor 07 indica um meio neutro, enquanto os valores acima de 07 indicam meios básicos. Consideram que pH entre 6.5 e 8.5 seja a faixa de conforto para juvenis de tambaqui criados em viveiros sem troca de água (MELO et al., 2001).

## 2.4. AERADORES

### 2.4.1. Modelos de aeradores

Atualmente o mercado dispõe de uma grande variedade de modelos de aeradores para auxiliar a oxigenação em sistemas de produção de organismos aquáticos, dentre os principais modelos estão:

- ✓ aeradores de rodas de pás;
- ✓ aeradores de difusão de ar.
- ✓ aerador propulsor de hélice;
- ✓ aerador de aspersão;
- ✓ aerador de bomba pulverizadora.

A escolha do tipo do aerador e seu dimensionamento necessitam de dados e informações sobre os modelos de produção (superfície e profundidade), do sistema de manejo da piscicultura, da disponibilidade de energia elétrica (preferencialmente trifásica), da taxa de transferência de oxigênio do aerador (kgO<sub>2</sub>/h), da eficiência do aerador (kgO<sub>2</sub>/Kwh) e da dinâmica do oxigênio dissolvido no ambiente de cultivo (ARANA, 2006; KUBITZA, 2003; SIPAÚBA-TAVARES et al., 1999; BOYD et al., 1998).

Alguns outros fatores devem ser levados em consideração no dimensionamento e definição o modelo a ser utilizada, tais como: mobilidade, durabilidade, custo de aquisição, manutenção e peças de reposição (CAVERO, 2009).

### 2.4.2. Aerador de rodas de pá

São aeradores projetados por um conjunto de peças mecânicas e elétricas, como motor elétrico de corrente alternada, rodas com pás acopladas, boias flutuadoras, eixos, buchas, rolamentos e caixa de redução de redução de velocidade. As opções de configuração dos motores dos aeradores disponíveis no mercado trabalham com rotação na casa de 1.600 RPM podendo variar de uma marca para a outra, esta rotação elevada é necessária para que a caixa de redução consiga transformar essa alta rotação em baixa rotação e elevado torque onde na saída do sistema de transmissão temos por volta de 100 RPM.

Ao girar as pás na lâmina d'água, o movimento das pás faz com que um volume de água em forma de gotas seja arremessado para alto e fora da lâmina d'água e entre em contato com o ar na atmosfera onde captura o oxigênio e retorna para a lâmina d'água. A taxa de transferência de oxigênio de um motor de 1,0 CV é em torno de 1,35 kg O<sub>2</sub>/h.

Figura 1 - Aerador de pá



Fonte: <http://www.agricotec.net/pt-br/produtos/aeradores/aerador-de-p-duas-ps>

### 2.4.3. Aerador de Aspersão

O modelo de aerador de aspersão é composto por um motor elétrico de corrente alternada acoplado a um eixo de aço rápido com uma hélice fixada na ponta, o motor fica posicionado de modo vertical onde parte do eixo e a hélice ficam dentro d'água, toda a estrutura para suportar este sistema fica apoiado em boias flutuantes.

O aerador realiza a aspersão de jatos de água para fora da superfície onde a água entra em contato com a atmosfera rica em oxigênio e ocorre a captura deste. A taxa de transferência de oxigênio de um motor de 1,0 CV é em torno de 1,8 kg O<sub>2</sub>/h.

Figura 2 A - Aerador de aspersão; B - Hélice aerador de aspersão.



Fonte: <https://aeradores-perini.negocio.site/#gallery>

Figura 3 Aerador de aspersão em operação.

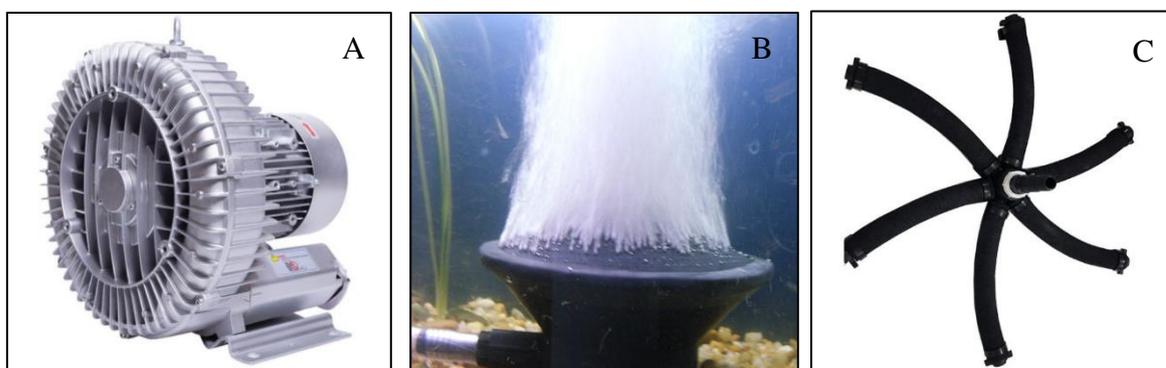


Fonte: <https://aeradores-perini.negocio.site/#gallery>

#### 2.4.4. Aeração por difusores de ar

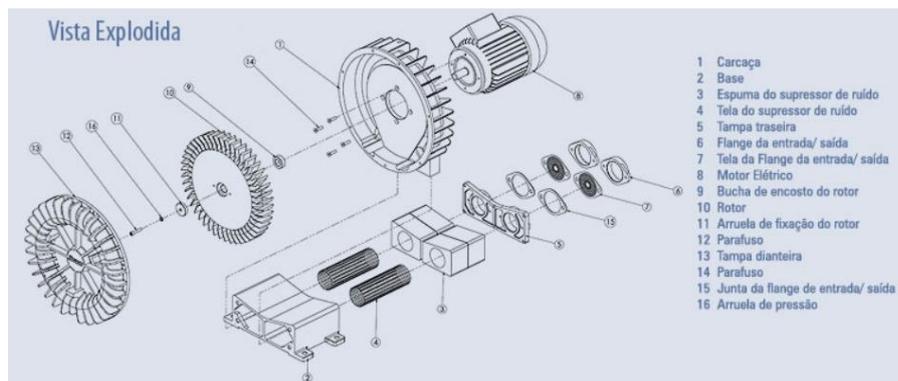
A aeração por difusores atua através da inserção de ar atmosférico com baixa pressão, alta velocidade e volume. O equipamento é composto por um motor elétrico trifásico de corrente alternada acoplado a um rotor de palhetas, que ao girar gera um fluxo de ar. O ar é recalcado e transferido através de tubulações até os difusores de ar, nos quais estão posicionados no fundo dos viveiros, ou suspensos na coluna d'água. Os tipos de difusores mais utilizados no ramo da piscicultura são os difusores de fabricados em material inoxidável devido ao longo tempo de exposição a ambientes agressivos, o dimensionamento varia para cada tipo de aplicação.

Figura 4 A - Soprador de ar; B - Difusor circular; C – Difusor estrela



Fonte: <https://www.sistemasaquaponicos.com.br/equipamentos-de-aeracao/mangueiras-pedras-e-discos/difusor-aerador-estrela-1/2>

Figura 5 Vista detalhada do soprador de ar



Fonte: <http://www.cebapir.com.br/produtos/compressorradialcr.htm>

## 2.5. ENERGIA ELÉTRICA

### 2.5.1. Energia elétrica no Amazonas

Antes de abordar o tema de energia solar é importante entender a respeito da energia elétrica na Amazônia, pois existem algumas peculiaridades que diferem do restante do país, segundo o Instituto Socioambiental (ISA) estima-se que cerca de dois milhões de pessoas não tem acesso à energia elétrica nas comunidades isoladas da Amazônia (GUEDES, 2019). Falando diretamente do estado do Amazonas, por exemplo, existem muitas comunidades sem acesso à energia elétrica, em virtude de serem localidades onde vivem pequenas famílias ou grupos familiares localizados em área de difícil acesso, onde é inviável a transmissão de energia elétrica via formas tradicionais de interligação com as fontes geradoras. A operadora de energia elétrica do Estado, para atender a demanda dessas comunidades distantes, utiliza como forma de geração de energia elétrica usinas termoeletricas que utiliza o óleo diesel como combustível. Todavia, para transportá-lo até as comunidades, utilizam-se de balsas e levam em média 45 dias através dos rios (VILLAÇA, 2011).

### 2.5.2. Energia solar fotovoltaica

A geração da energia solar acontece através da conversão fotovoltaica que se estabelece na conversão direta de energia luminosa do sol em energia elétrica, por meio do efeito fotovoltaico. Até onde se tem conhecimento, o efeito fotovoltaico foi observado pela primeira vez em 1839 por Edmond Becquerel e caracteriza-se pelo no aparecimento de uma diferença de potencial entre dois terminais com características elétricas diferentes, que conectados por um fio condutor resultaram em circulação de corrente elétrica contínua (BUHLER, 2013). Quando

se fala em energia, deve-se lembrar de que o Sol é responsável pela origem de praticamente todas as outras fontes de energia na Terra (PINHO, 2014).

### **2.5.3. Sistemas fotovoltaicos isolados (off-grid)**

No sistema solar fotovoltaico off-grid, também conhecido como sistema fotovoltaico fora da rede, a energia elétrica é fornecida diretamente aos equipamentos e utensílios elétricos, portanto, a energia deve chegar sem interrupções e de forma permanente, o que acaba sendo um problema para este tipo de sistema, pois durante o dia podem ocorrer sombreamentos causados por nuvens e dias chuvosos, por exemplo (BLUESOL, 2012). Fazendo-se necessário o uso de um banco de baterias, que garante a estabilidade do fornecimento de energia aos aparelhos elétricos. Em virtude de não existir geração de eletricidade pelos painéis fotovoltaicos durante o período da noite, toda a energia acumulada nas baterias durante o período de produção é usada pelos equipamentos elétricos quando necessário no período da noturno. Também existe a opção de fornecimento compartilhado, atualmente existem inversores híbridos que utilizam diretamente a energia gerada pelos painéis solares, e quando esta energia não é o suficiente para o atendimento da demanda o inversor pega o necessário de outra fonte, que podem ser as baterias ou o fornecimento da concessionária.

Um outro ponto importante nesse sistema são as características das baterias e do gerador fotovoltaico para potencializar o rendimento do conjunto, onde se faz necessário a instalação de um controlador de carga, para que não ocasione descargas excessivas nas baterias (BLUESOL, 2012).

### **2.5.4. Células fotovoltaicas**

Na formação de um sistema fotovoltaico, a célula fotovoltaica é o menor dispositivo existente, fabricada com um material semicondutor responsável pelo processo de conversão (PINHO & GALDINO, 2014). As células dos painéis solares são as responsáveis pelo funcionamento de um sistema fotovoltaico, pois é nelas que ocorre o efeito fotovoltaico, por meio do qual a radiação solar é transformada de forma direta em energia elétrica. Para que este processo ocorra, são utilizados materiais semicondutores como silício, o arseneto de gálio, telureto de cádmio ou disseleneto de cobre e índio, ao qual são adicionados dopantes com o objetivo de se criar um meio adequado ao estabelecimento do efeito fotovoltaico (IST; DGS ; UE, 2004).

Por terem uma boa estrutura atômica cristalina, serem sólidos e com condutividade elétrica intermediária, os materiais semicondutores são facilmente aplicáveis para esta

utilização. Aproximadamente 95% de todas as células solares já produzidas no mundo são fabricadas em silício, elemento abundante na Terra, mas que não existe como um elemento químico puro, e sim como uma ligação química em forma de dióxido de silício, encontrado na areia de sílica, por exemplo (IST; DGS ; UE, 2004).

Figura 6 Vista explodida do painel solar.



Fonte: <https://ecoenergias.com.br/paineis-solares-fotovoltaicos-bifaciais-origem-o-que-e-aplicabilidade-tecnologia/>

### 2.5.5. Inversor off-grid

Sistemas fotovoltaicos off-grid, são um conjunto que não depende da rede elétrica convencional para demanda de energia elétrica porque não tem capacidade de interagir com o sinal de corrente alternada presente na rede, sendo possível sua utilização em localidades que não possui rede de distribuição elétrica (VILLALVA, 2012).

Existem dois tipos de sistemas autônomos: com ou sem de bancos de baterias. O primeiro pode ser utilizado em carregamento de baterias de veículos elétricos, em iluminação pública e, até mesmo, em pequenos aparelhos portáteis, enquanto o segundo, além de ser frequentemente utilizado em bombeamento de água, telefone público de rodovias já que não necessita de baterias para armazenamento de energia.

Figura 7 Inversor off-grid.

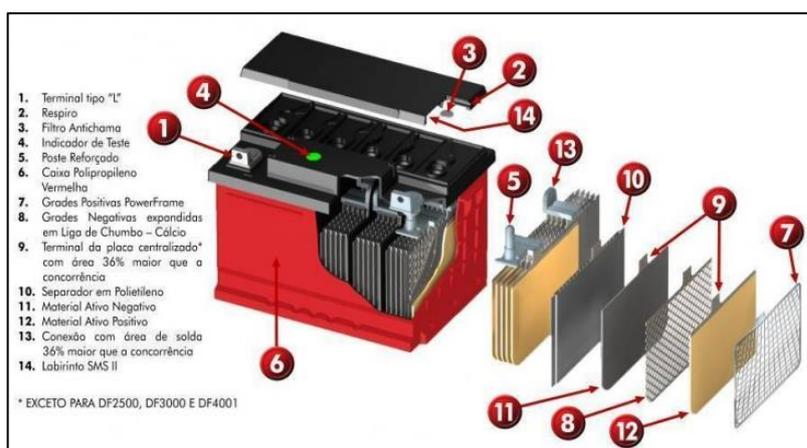


Fonte: <https://loja.trxsolar.com/inversor-hibrido-de-3000w-24220v-com-pico-de-partida-epever-up3000-6322>

### 2.5.6. Baterias

As baterias utilizadas devem possuir vida útil de longa duração, sendo carregadas e descarregadas constantemente e diariamente. Os modelos mais utilizados são os de chumbo-ácido. Outro ponto importante a ser analisado é a eficiência de carga, que deve ser elevada, ou seja, tem de ter um bom desempenho mesmo com baixas correntes de carga e descarga. Sistema isolado pode ser aplicado também como um sistema fotovoltaico de bombeamento, constituído por uma unidade geradora, e um dispositivo para condicionamento de potências, uma bomba e um reservatório de água. Diferente dos sistemas de geração para domicílios, geralmente não é utilizado bateria para o armazenamento de carga (PINHO & GALDINO, 2014).

Figura 8 Vista explodida da bateria de ácido



Fonte: <https://www.energycleanbaterias.com.br/produto/bateria-estacionaria-freedom-df500/>

### 2.6. ARDUINO

Arduino é uma plataforma eletrônica de código aberto baseada em hardware e software fáceis de usar. As placas Arduino são capazes de ler entradas - luz em um sensor, um dedo em um botão ou uma mensagem do Twitter - e transformá-la em uma saída - ativando um motor, ligando um LED, publicando algo online. Pode-se dizer à placa o que fazer enviando um conjunto de instruções para o microcontrolador da placa. Para fazer isso, usa-se a linguagem de programação Arduino (baseada em Wiring), e o Software Arduino (IDE), baseado em Processing (ARDUINO, 2018).

Ao longo dos anos, o Arduino tem sido o cérebro de milhares de projetos, de objetos do cotidiano a instrumentos científicos complexos. Uma comunidade mundial de criadores - estudantes, amadores, artistas, programadores e profissionais - reuniu-se em torno desta plataforma de código aberto, suas contribuições somaram uma quantidade incrível de conhecimento acessível que pode ser de grande ajuda para novatos e especialistas.

O Arduino nasceu no Ivrea Interaction Design Institute como uma ferramenta fácil de prototipagem rápida, voltada para alunos sem formação em eletrônica e programação. Assim que alcançou uma comunidade mais ampla, a placa Arduino começou a mudar para se adaptar às novas necessidades e desafios, diferenciando sua oferta de placas simples de 8 bits a produtos para aplicações IoT, vestíveis, impressão 3D e ambientes integrados. Todas as placas Arduino são completamente de código aberto, permitindo que os usuários as criem de forma independente e, eventualmente, adaptem-nas às suas necessidades particulares. O software também é de código aberto e está crescendo por meio das contribuições de usuários em todo o mundo.

Graças à sua experiência de usuário simples e acessível, o Arduino foi usado em milhares de projetos e aplicativos diferentes. O software Arduino é fácil de usar para iniciantes, mas flexível o suficiente para usuários avançados. Ele roda em Mac, Windows e Linux. Professores e alunos o usam para construir instrumentos científicos de baixo custo, para provar os princípios da química e da física ou para iniciar a programação e a robótica. Designers e arquitetos constroem protótipos interativos, músicos e artistas usam para instalações e para experimentar novos instrumentos musicais. Os criadores, é claro, o usam para construir muitos dos projetos exibidos na Maker Faire, por exemplo. Arduino é uma ferramenta fundamental para aprender coisas novas. Qualquer pessoa - crianças, hobistas, artistas, programadores - pode começar a mexer apenas seguindo as instruções passo a passo de um kit (ARDUINO, 2018).

Existem diversas versões de microcontroladores e desenvolvedores de microcontroladores disponíveis para computação física, Netmedia's BX-24, Parallax Basic Stamp, MIT's Handyboard, Phidgets e muitos outros oferecem funcionalidade semelhante. Todas essas ferramentas pegam os detalhes complicados da programação do microcontrolador e os envolvem em um pacote fácil de usar. O Arduino também simplifica o processo de trabalho com microcontroladores, mas oferece algumas vantagens para professores, alunos e amadores interessados em relação a outros sistemas:

Barato - as placas Arduino são de baixo custo em comparação com outras plataformas de microcontrolador. Os modelos mais acessíveis das placas Arduino podem ser construídas manualmente, e até as placas Arduino pré-fabricadas tem valores inferiores a \$ 50.

Plataforma cruzada - O ambiente integrado de desenvolvimento (IDE) é executado nos sistemas operacionais Windows, Macintosh OSX e Linux. A maioria dos sistemas de microcontroladores está limitada ao Windows.

Ambiente de programação simples e claro - O ambiente integrado de desenvolvimento (IDE) é fácil de usar para iniciantes, mas flexível o suficiente para usuários avançados aproveitarem. Para professores, ele é convenientemente baseado no ambiente de programação de processamento, de modo que os alunos que estão aprendendo a programar naquele ambiente estarão familiarizados com o funcionamento do IDE do Arduino (ARDUINO, 2018).

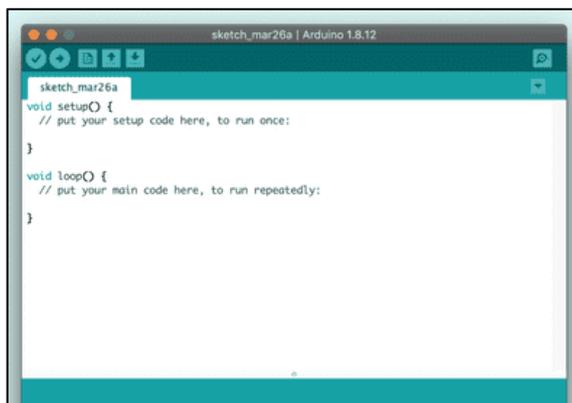
Software de código aberto e extensível - O software Arduino é publicado como ferramentas de código aberto, disponíveis para extensão por programadores experientes. A linguagem pode ser expandida por meio de bibliotecas C ++, e as pessoas que desejam entender os detalhes técnicos podem dar o salto do Arduino para a linguagem de programação AVR C na qual ela se baseia. Da mesma forma, você pode adicionar o código AVR-C diretamente em seus programas Arduino, se desejar (ARDUINO, 2018).

Hardware extensível e de código aberto - Os planos das placas Arduino são publicados sob uma licença Creative Commons, para que designers de circuito experientes possam fazer sua própria versão do módulo, estendendo-o e aprimorando-o. Mesmo usuários relativamente inexperientes podem construir a versão breadboard do módulo para entender como ele funciona e economizar dinheiro.

## 2.7. SOFTWARE ARDUINO (IDE)

O Arduino Integrated Development Environment - ou ambiente integrado de desenvolvimento (IDE) - contém um editor de texto para escrever código, uma área de mensagem, um console de texto, uma barra de ferramentas com botões para funções comuns e uma série de menus. Ele se conecta ao hardware Arduino para fazer upload de programas e se comunicar com eles (ARDUINO, 2018).

Figura 9 Página inicial do IDE.



Fonte: Arduino.cc

Os programas escritos com o ambiente integrado de desenvolvimento (IDE) são chamados de sketches. Esses esboços são escritos no editor de texto e salvos com a extensão de arquivo .ino. O editor possui recursos para cortar / colar e pesquisar / substituir texto. A área de mensagem fornece feedback ao salvar, exportar e também exibe erros. O console exibe a saída de texto do Arduino Software (IDE), incluindo mensagens de erro completas e outras informações. O canto inferior direito da janela exibe a placa configurada e a porta serial. Os botões da barra de ferramentas permitem verificar e carregar programas, criar, abrir e salvar esboços e abrir o monitor serial (ARDUINO, 2018).

## CAPÍTULO 3

---

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão descritos os materiais utilizados na confecção de estação (plataforma) de monitoramento, a metodologia utilizada para este fim e para a coleta de dados.

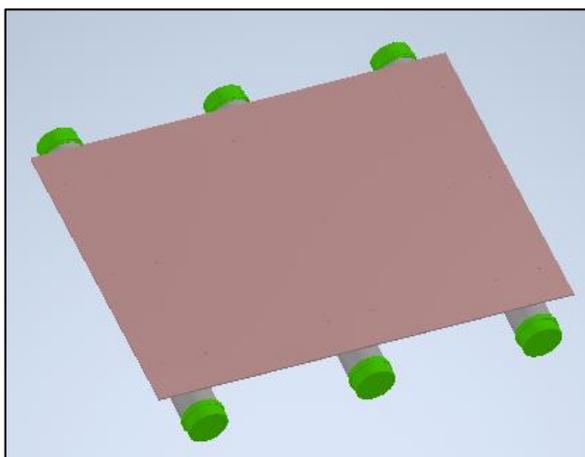
#### 3.1. CARACTERÍSTICAS DA ESTAÇÃO DE MONITORAMENTO

A EEMA é uma plataforma flutuante compacta que tem a bordo três sondas de monitoramento, sendo elas de temperatura, pH e oxigênio dissolvido, além de um sistema de energia solar para gerar energia para atender a demanda de todos os componentes eletrônicos presentes no painel de controle, todos estes componentes trabalham a tensão de 5 V, e são de plataforma de hardware livre.

##### 3.1.1. Plataforma de flutuação

A plataforma conforme figura 10 foi projetada de modo a garantir a sustentação dos componentes eletrônicos acima do nível da lâmina d'água, e estabilidade para as sondas que estão instaladas na parte inferior da plataforma e posicionadas abaixo da lâmina d'água, como uma medida de segurança foram inseridas bolas de isopor dentro das boias de flutuação, para garantir mesmo em casos de infiltração de água na boia a flutuação da mesma.

Figura 10 Plataforma de flutuação.



##### 3.1.2. Quadro de comando

Para a seleção do quadro de comando, conforme figura 11, foram levadas em consideração alguns aspectos importantes, que são eles, fechamento hermético, material não

corrosivo e resistência a raios ultravioleta, em virtude de o painel ficar em local úmido e exposto ao sol. O painel é composto de material plástico nas dimensões de 300 x 200 mm.

Figura 11 Quadro de comando.



Fonte: <https://www.ferreiracosta.com/Produto/233073/caixa-para-quadro-de-comando-tampa-opaca-45x30x20-cemar>

### 3.1.3. Sonda de oxigênio dissolvido

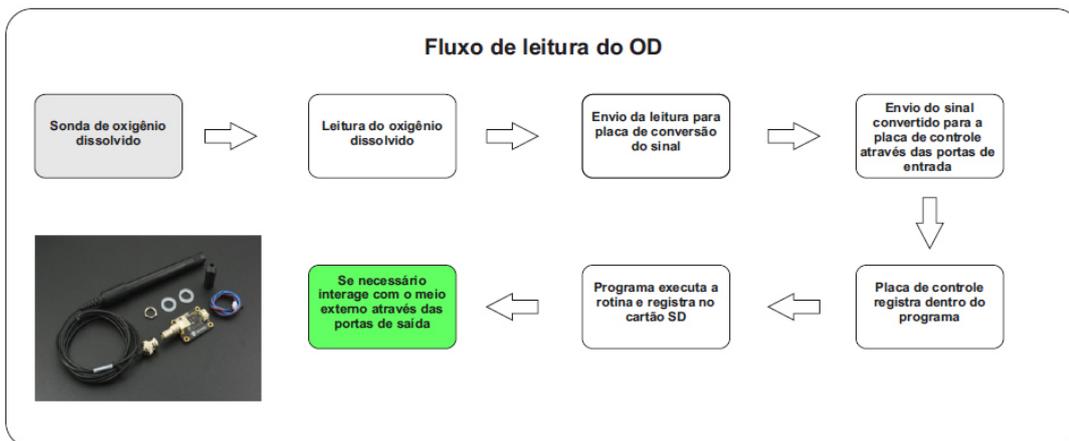
A escolha da sonda de oxigênio dissolvido foi feita com duas características importante, na primeira a sonda deveria ter compatibilidade com hardware livre e a segunda, a mesma deveria trabalhar com alimentação de 5V. A sonda é composta em uma das extremidades com material galvânico, sendo este a sonda propriamente dita, com cabo de 1000 mm e plug BNC na outra extremidade, conforme figura 12.

Figura 12 Sonda de oxigênio dissolvido



Fonte: <https://www.dfrobot.com/category-68.html>

Figura 13 Fluxograma sonda de oxigênio



### 3.1.4. Sonda de pH

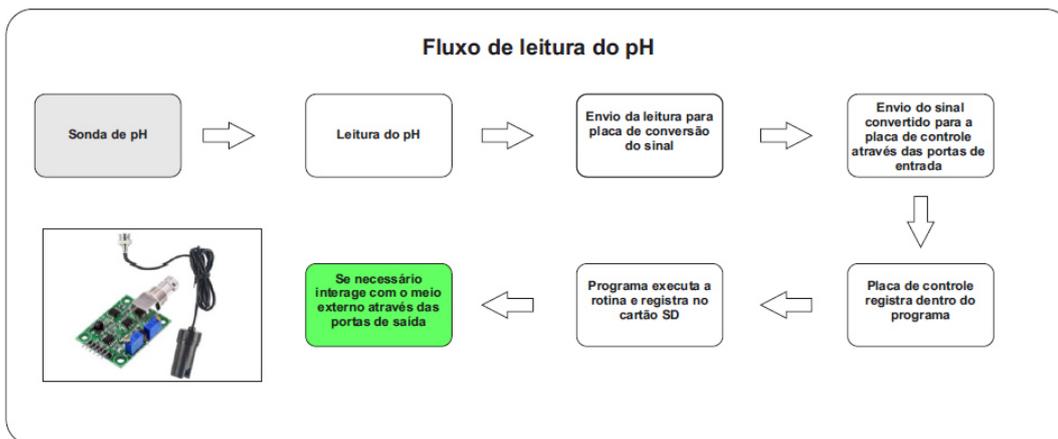
A escolha da sonda de pH foi feita respeitando as mesmas características da sonda de oxigênio dissolvido (veja item 3.1.3).

Figura 14 Sonda de pH.



Fonte: <https://www.dfrobot.com/category-68.html>

Figura 15 Fluxograma sonda de pH



### 3.1.5. Sonda de temperatura

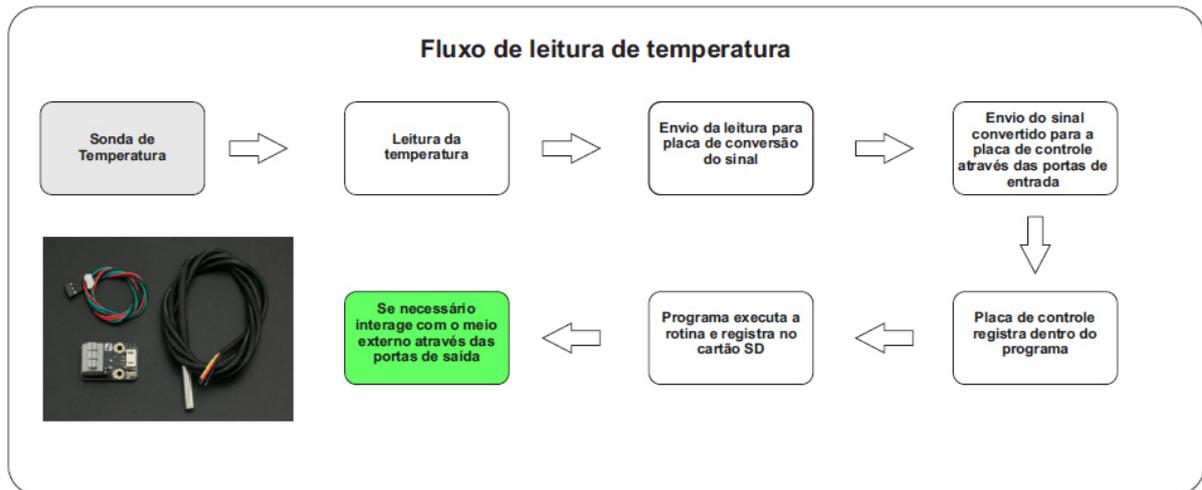
A seleção da sonda de temperatura foi definida atendendo a dois critérios, o primeiro deles é a resistência a corrosão e o segundo a resistência a infiltração, deveria ser blindado.

Figura 16 Sonda de temperatura.



Fonte: <https://www.dfrobot.com/product-1354.html>

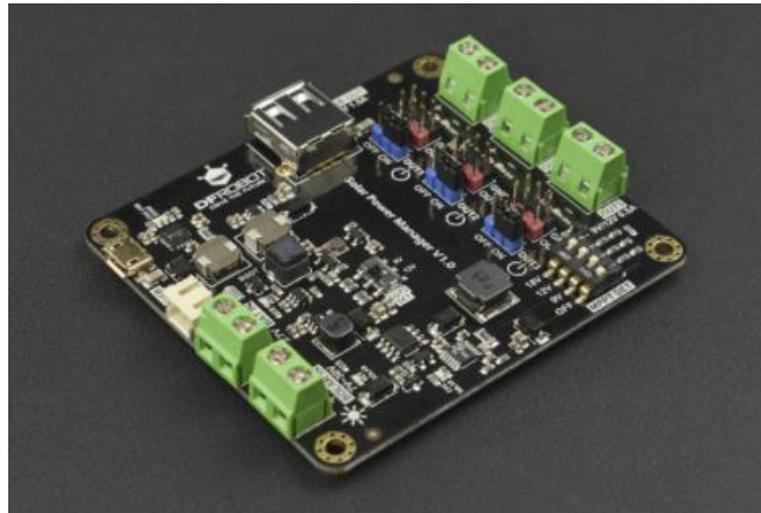
Figura 17 Fluxograma sonda de temperatura



### 3.1.6. Placa de gerenciamento solar

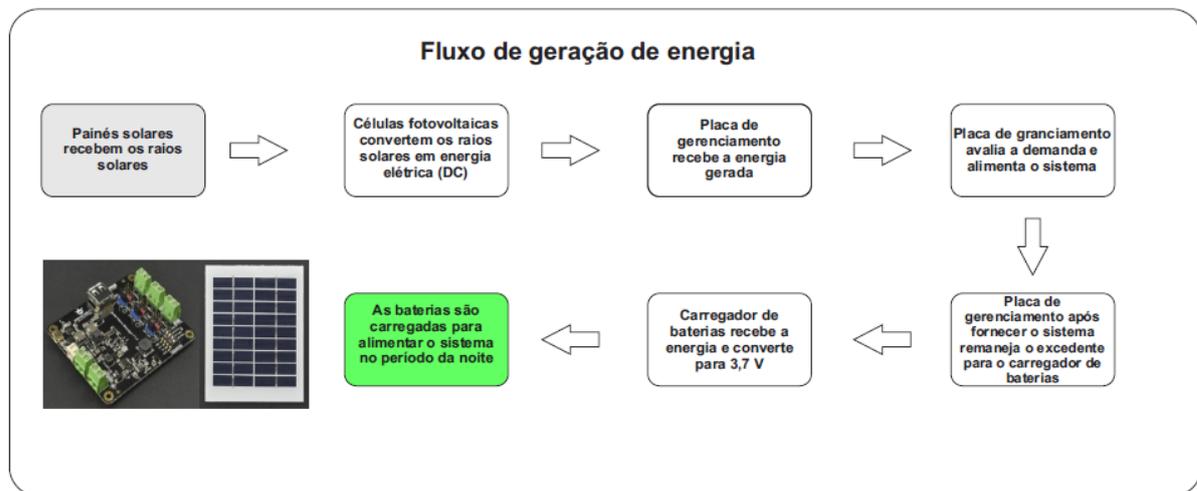
O gerenciamento solar foi definido com base em três características, a entrada deveria atender a tensão de 9V, a saída deveria ser de 5V e a presença de saída para carregamento de baterias.

Figura 18 Gerenciador de energia solar.



Fonte: <https://www.dfrobot.com/product-1714.html>

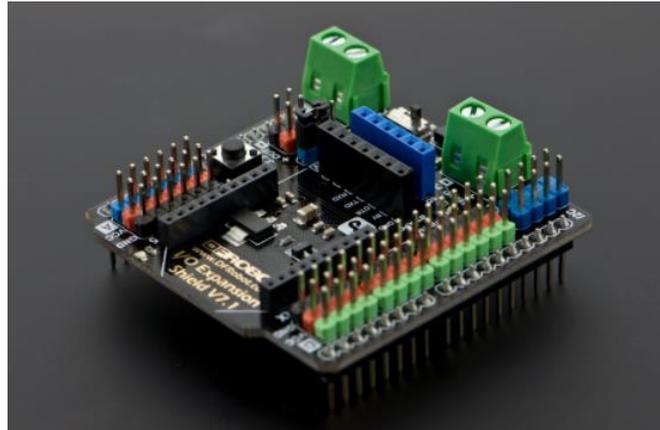
Figura 19 Fluxograma gerenciamento energia solar



### 3.1.7. Placa de expansão

Devido a quantidade de periféricos instalados na estação de monitoramento autônoma, se fez necessário inserir uma placa de expansão compatível com a placa de controle para a correta instalação desses periféricos.

Figura 20 Expansão I / O.

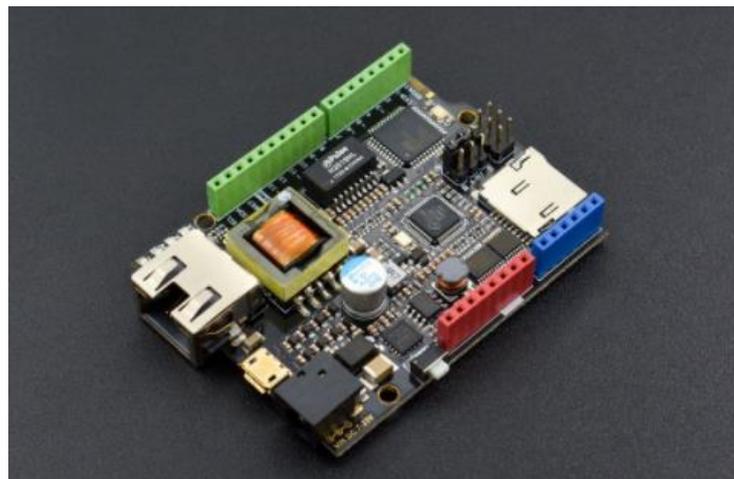


Fonte: <https://www.dfrobot.com/product-1009.html>

### 3.1.8. Placa de controle

A placa de controle foi selecionada respeitando seis premissas, que são elas, a placa deveria ser hardware livre, tensão de funcionamento de 5V, modulo de cartão SD integrado, modulo de ethernet integrado, usar linguagem de programação de alto nível e entrada micro USB para programação.

Figura 21 Placa de controle POE.



Fonte: <https://www.dfrobot.com/product-1286.html>

## 3.2. LISTA DE MATERIAIS

As peças que foram adquiridas fora do mercado nacional foram convertidas para a moeda local respeitando a cotação do dólar do dia 12-03-2021 de R\$ 5,55, nos valores descritos na tabela abaixo já estão inclusos em cada item importado os impostos de importação e o valor do transporte, ambos convertidos para o real e somado ao valor do produto

Tabela 1 Lista de materiais com valores e quantidades

| #            | Descrição                              | Quant. | Valor      | Subtotal            |
|--------------|--|--------|------------|---------------------|
| 1            | Painel de controle 300 x 200           | 1      | R\$ 135,00 | R\$ 135,00          |
| 2            | Base de acrílico 280 x 180             | 1      | R\$ 75,00  | R\$ 75,00           |
| 3            | Espaçador M3                           | 16     | R\$ 3,00   | R\$ 48,00           |
| 4            | Bateria de lítio 18650 3,7 V 2.500 mAh | 8      | R\$ 15,00  | R\$ 120,00          |
| 5            | Placa de controle                      | 1      | R\$ 125,00 | R\$ 125,00          |
| 6            | Placa de gerenciamento solar DFRobot   | 1      | R\$ 240,00 | R\$ 240,00          |
| 10           | Sonda de OD DFRobot                    | 1      | R\$ 900,00 | R\$ 900,00          |
| 11           | Sonda de PH DFRobot                    | 1      | R\$ 220,00 | R\$ 220,00          |
| 12           | Sonda de Temperatura DFRobot           | 1      | R\$ 220,00 | R\$ 220,00          |
| 13           | Modulo RTC DFRobot                     | 1      | R\$ 50,00  | R\$ 50,00           |
| 14           | Placa estabilizadora de sinal          | 1      | R\$ 15,00  | R\$ 15,00           |
| 15           | Modulo cartão SD                       | 1      | R\$ 140,00 | R\$ 140,00          |
| 16           | Painel Solar                           | 4      | R\$ 50,00  | R\$ 50,00           |
| 17           | Suporte Painel Solar                   | 2      | R\$ 100,00 | R\$ 200,00          |
| 18           | Tubo de PVC 100 mm                     | 1      | R\$ 45,00  | R\$ 45,00           |
| 19           | Tampão tudo de PVC 100 mm              | 10     | R\$ 14,00  | R\$ 140,00          |
| 20           | Abraçadeira tubo de PVC 100 mm         | 6      | R\$ 10,00  | R\$ 60,00           |
| 21           | bolas de isopor 90 mm                  | 30     | R\$ 4,50   | R\$ 135,00          |
| 22           | Chapa de PEAD 500 x 500                | 1      | R\$ 80,00  | R\$ 80,00           |
| 23           | Roteador D-Link                        | 1      | R\$ 100,00 | R\$ 100,00          |
| 24           | Plug macho 3mm                         | 5      | R\$ 3,00   | R\$ 15,00           |
| 25           | Plug fêmea 3mm                         | 5      | R\$ 3,00   | R\$ 15,00           |
| 26           | Interruptor de tecla                   | 1      | R\$ 5,00   | R\$ 5,00            |
| 27           | Cartão SD 32 GB                        | 1      | R\$ 60,00  | R\$ 60,00           |
| 28           | Suporte para sonda                     | 1      | R\$ 45,00  | R\$ 45,00           |
| <b>TOTAL</b> |  |        |            | <b>R\$ 3.258,00</b> |

### 3.3. CALIBRAÇÃO E LIGAÇÃO

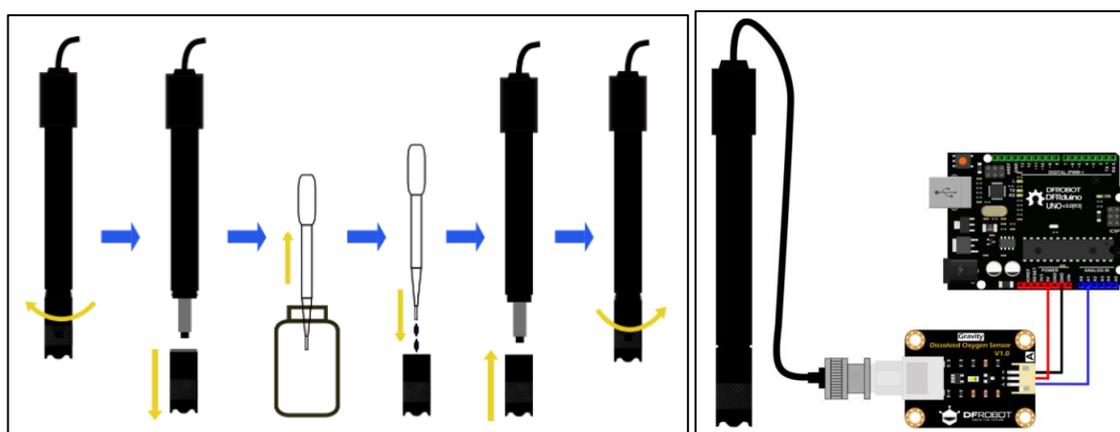
#### 3.3.1. Oxigênio dissolvido

A calibração da sonda de oxigênio dissolvido foi realizada conforme manual de instrução do fabricante, foram utilizadas duas amostras para a calibração em dois pontos, a primeira amostra oriunda de qualquer fonte de água potável, no caso foi utilizado água

fornecida pela concessionária de água de Manaus, e a segunda amostra foi obtida da mesma fonte da primeira e processada em uma bateadeira por dez minutos, com o objetivo de saturar a oxigenação da amostra. Feito a seleção das amostras foi utilizado um algoritmo fornecido pelo fabricante para ser utilizado com a sonda para captura de dois parâmetros que são eles, corrente e tensão nas duas amostras, os valores encontrados para cada ponto de calibração foram inseridos no algoritmo da plataforma carregado na placa controladora. Além disso, foi utilizado por recomendação do fabricante da sonda solução KCL de 0,5 mol em sua membrana durante as calibrações e medições.

As ligações elétricas e eletrônicas da sonda de oxigênio dissolvido foram feitas respeitando e seguindo as orientações do fabricante.

Figura 22 A - Solução tampão; B - Placa de conversão do pH.



Fonte: [https://wiki.dfrobot.com/Gravity\\_\\_Analog\\_Dissolved\\_Oxygen\\_Sensor\\_SKU\\_SEN0237](https://wiki.dfrobot.com/Gravity__Analog_Dissolved_Oxygen_Sensor_SKU_SEN0237)

### 3.3.2. Potencial hidrogeniônico (pH)

Para calibrar a sonda de pH foram adotados os métodos recomendados pelo fabricante, que consiste em fechar um curto na saída do eletrodo em seguida realizar a aferição de um potenciômetro presente na placa de conversão até o valor chegar em 7,0, após este procedimento realizar a confirmação da calibração utilizando as soluções tampão com respectivos pH 4,0 tendendo para um nível ácido, pH 7,0 tendendo para neutro e pH 10,0 tendendo para básica.

Figura 23 A - Solução tampão; B- Placa de conversão do pH



Fonte A - <https://loja.akso.com.br/produto/combo-solucoes-ph4-ph7-e-kcl-766>. Acesso em 19.09.2022.

### 3.3.3. Sonda de temperatura

A sonda de temperatura foi calibrada com o método de comparação, foi utilizado um termômetro de mercúrio calibrado e a sonda de temperatura a ser calibrada inseridos em um mesmo recipiente com água a temperatura ambiente, após cinco minutos de estabilização da temperatura os valores foram comparados e aferiu-se a sonda de temperatura para o mesmo valor encontrado pelo termômetro de mercúrio.

Figura 24 Sonda de temperatura calibrando

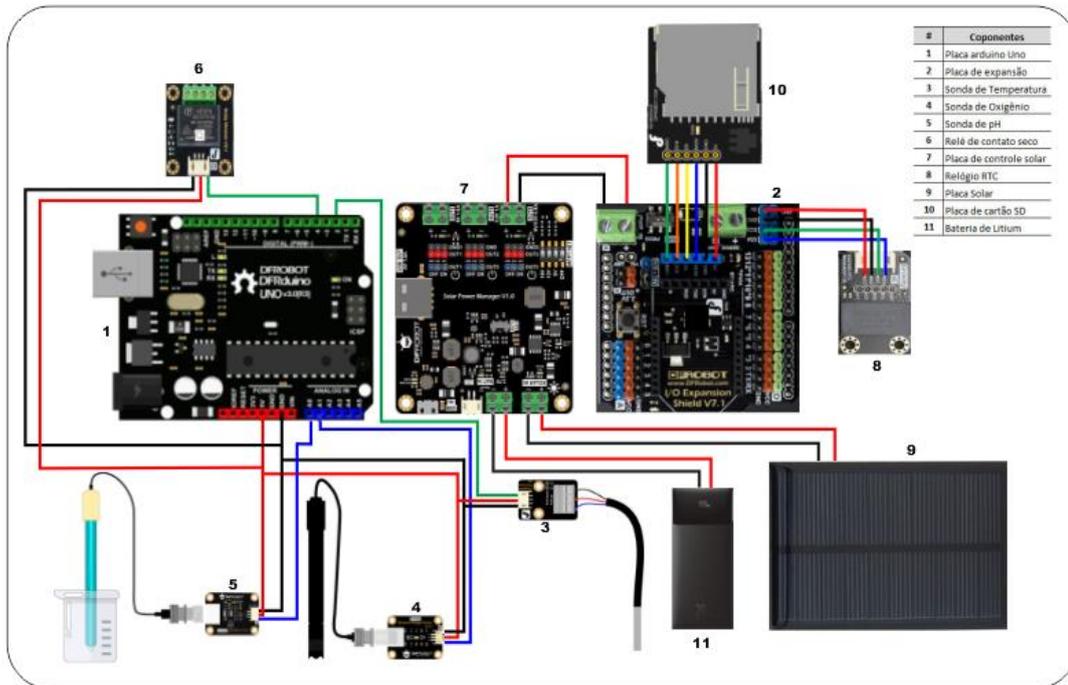


Fonte: [https://wiki.dfrobot.com/Waterproof\\_DS18B20\\_Digital\\_Temperature\\_Sensor\\_\\_SKU\\_DFR0198\\_](https://wiki.dfrobot.com/Waterproof_DS18B20_Digital_Temperature_Sensor__SKU_DFR0198_)

## 3.4. ESQUEMA DE LIGAÇÃO DOS COMPONENTES

As ligações dos componentes da estação de monitoramento da qualidade da água foram feitas conforme figura 26.

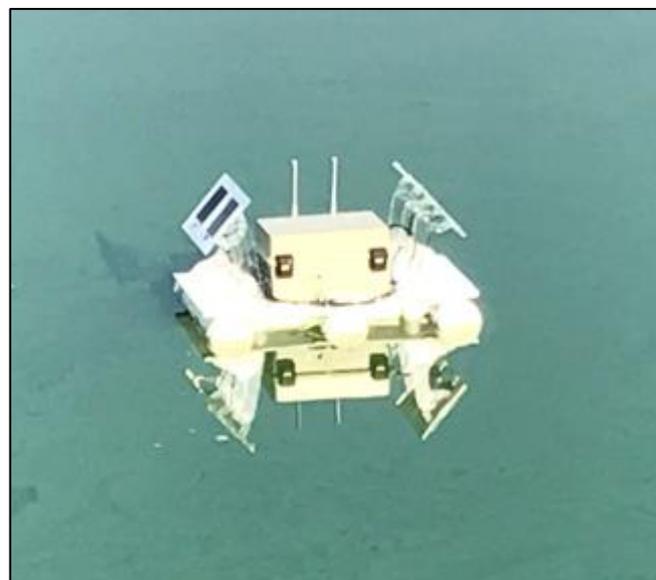
Figura 25 Esquema de Ligação



### 3.5. METODOLOGIA

A estação de monitoramento autônoma é constituída por uma plataforma flutuante, onde estão instalados o quadro de controle e os painéis solares na sua parte superior e na parte inferior submerso na água estão instaladas as sondas de temperatura, pH e oxigênio dissolvido.

Figura 26 Plataforma em operação no tanque



### 3.6. PROGRAMAÇÃO E LÓGICA

A programação do controlador da EEMA está baseada em linguagem C, para a criação deste programa foi utilizado o Software Integrated Development Environment (IDE) de plataforma aberta. A lógica de funcionamento da EEMA foi estabelecida da seguinte maneira, as sondas fazem a leitura e transmitem as medições a cada cinco minutos, para a placa controladora, onde as informações são registradas em um cartão SD no formato txt. Ao mesmo tempo que estes dados são armazenados, são comparados com os parâmetros técnicos pré-estabelecidos registrados no programa, de acordo com Izel et al. (2013) quando o OD está abaixo de 3,0 mg/l a alimentação é suspensa. Portanto, quando o valor de oxigênio dissolvido medido está abaixo de 2,99 mg/l os aeradores são acionados, assim que em nova medida for detectado que o OD é igual ou maior que 4,0 mg/l, os aeradores são desligados.

### 3.7. VALIDAÇÃO

Para a validação da EEMA foram realizados ensaios em laboratório, com o objetivo de avaliar as ligações elétricas, lógica de programação, integração entre as partes e fluabilidade da boia da plataforma. Também foram realizados ensaios e coletas de dados em tanques escavados de produção comercial para avaliar com qualidade e precisão a utilização da EEMA em condições reais de utilização, exposta às intempéries do clima Amazônico, assim garantindo a aplicação e utilização da mesma pelos produtores.

### 3.8. INTEGRAÇÃO

As coletas de dados em campo foram divididas em duas etapas: (1) validação da EEMA e verificação da acuracidade no armazenamento dos dados; (2) integração dos aeradores ao controle da EEMA. As duas etapas foram realizadas no município de Rio Preto da Eva, no estado do Amazonas, Brasil, em fazendas comerciais de piscicultura com tanques do tipo escavado. A primeira etapa foi realizada em agosto de 2021, e a segunda nos meses de junho e julho de 2022. Os dados foram analisados e os gráficos plotados com o auxílio do software Excel versão 2206.

Para as coletas de dados foram definidos dois cenários, o primeiro um tanque (tanque 8) com 7.000 tambaquis da espécie *Colossoma macropomum* (Cuvier 1816), juvenis com peso médio de 750 g, e o segundo em outro tanque (tanque 3) povoado com 9.000 tambaquis adultos de 3,5 Kg em média. Não foi alterada a quantidade de aeradores nos tanques, para os testes com controle dos aeradores, foram selecionados dois aeradores no tanque 08 (peixes na fase juvenil)

para serem utilizados de forma emergencial (ligando mediante baixa nos níveis de OD pré-estabelecidos) e um para suplementar (ligado durante todo o período de aeração noturna), no tanque 03 (peixes fase adulta) foram selecionados três aeradores para atuarem de forma emergencial e seis foram mantidos no formato suplementar. Em cada cenário foram coletados dados de pH, temperatura e oxigênio dissolvido, ambos os tanques são localizados no município Rio Preto da Eva/Amazonas.

Os cálculos utilizados para avaliar a economia de energia, foram realizados utilizando os dados coletados durante a pesquisa de campo. Para estimar a economia de energia em valores monetários, foram aplicadas as equações 1, 2 e 3.

$$PA = \frac{PU}{N} \quad (1)$$

$$C_{AS} = PA \cdot H_{TAS} \cdot D \cdot V \quad (2)$$

$$C_{AC} = PA \cdot H_{TAC} \cdot D \cdot V \quad (3)$$

Onde;

PU = Potência útil em kW

PA = Potência absorvida em kW

N = Rendimento em percentual

H<sub>TAS</sub> = Tempo total de uso de AS em hora

H<sub>TAC</sub> = Tempo total de uso de AC em hora

D = Dias de uso em dias

C<sub>AS</sub> = Custo AS em Reais

C<sub>AC</sub> = Custo AC em Reais

V = Valor do kWh em Reais

### 3.9. COLETA DE DADOS

As coletas de dados preliminares foram realizadas no mês de agosto do ano de 2021 no município de Rio Preto da Eva no estado do Amazonas (Latitude: 2° 41' 55" Sul, Longitude: 59° 42' 3" Oeste) em uma fazenda de piscicultura, localizada as margens da rodovia AM-010 no KM-86. Foram selecionados dois tanques, o primeiro com um ponto amarelo (tanque 4), onde os peixes estavam na fase juvenil, e outro com um ponto vermelho (tanque 10), onde os peixes estavam na fase adulta, em condição de despesca (figura 27).

As coletas finais foram realizadas na mesma região das coletas preliminares, mas foi escolhida outra propriedade com mesmo potencial produtivo. Para as coletas finais foram

selecionados o tanque oito (ponto azul) com peixes juvenis e o tanque três (ponto verde) com peixes adultos (figura 28).

Figura 27 Imagem de satélite da fazenda de piscicultura em Rio Preto da Eva, Amazonas (coletas preliminares)



Fonte: Google Earth, 2021

Figura 28 Imagem de satélite da fazenda de piscicultura em Rio Preto da Eva, Amazonas (coletas finais)



Fonte: Google Earth, 2022

# CAPÍTULO 4

---

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1. RESULTADOS PRELIMINARES

Nos primeiros ensaios em campo não foi aplicada a interação com o ambiente externo, no caso o acionamento e desligamento dos aeradores, para este teste inicial foi avaliado somente o funcionamento do programa, das sondas de medição, o armazenamento das medições realizadas pelas sondas no cartão SD e a flutuação da plataforma.

Foram realizadas quatro medições de 24 horas seguidas no tanque dez e uma no tanque quatro. Abaixo seguem os resultados dos primeiros monitoramentos.

O primeiro teste em campo realizado com a estação de monitoramento autônoma foi realizado no dia 10/08/2021 durante o período da noite e madrugada, pois estes são os períodos mais críticos para a criação de peixes em tanques escavados, inicialmente optou-se por coletar os dados via wi-fi, devido a necessidade de acompanhar ponto a ponto da medição neste primeiro teste, abaixo seguem os primeiros resultados coletados durante este experimento em campo (tabela 2).

Tabela 2 Modelo de captura dos dados

| Data       | Hora     | OD (mg / l) | pH   | Temperatura (°C) |
|------------|----------|-------------|------|------------------|
| 10/08/2021 | 18:23:06 | 7.50        | 6.21 | 32.69            |
| 10/08/2021 | 18:23:35 | 7.47        | 6.04 | 32.69            |
| 10/08/2021 | 18:24:05 | 7.89        | 5.97 | 32.69            |
| 10/08/2021 | 18:24:35 | 6.87        | 5.70 | 32.69            |
| 10/08/2021 | 18:25:05 | 7.43        | 5.80 | 32.69            |
| 10/08/2021 | 18:25:35 | 7.33        | 5.48 | 32.63            |

Para validar a performance da plataforma, as coletas preliminares foram realizadas em dois tanques e armazenadas ao longo do período de medição, com base nesses dados foram plotados os gráficos preliminares 1 e 2 de oxigênio dissolvido.

Gráfico 1 Oxigênio dissolvido tanque 04

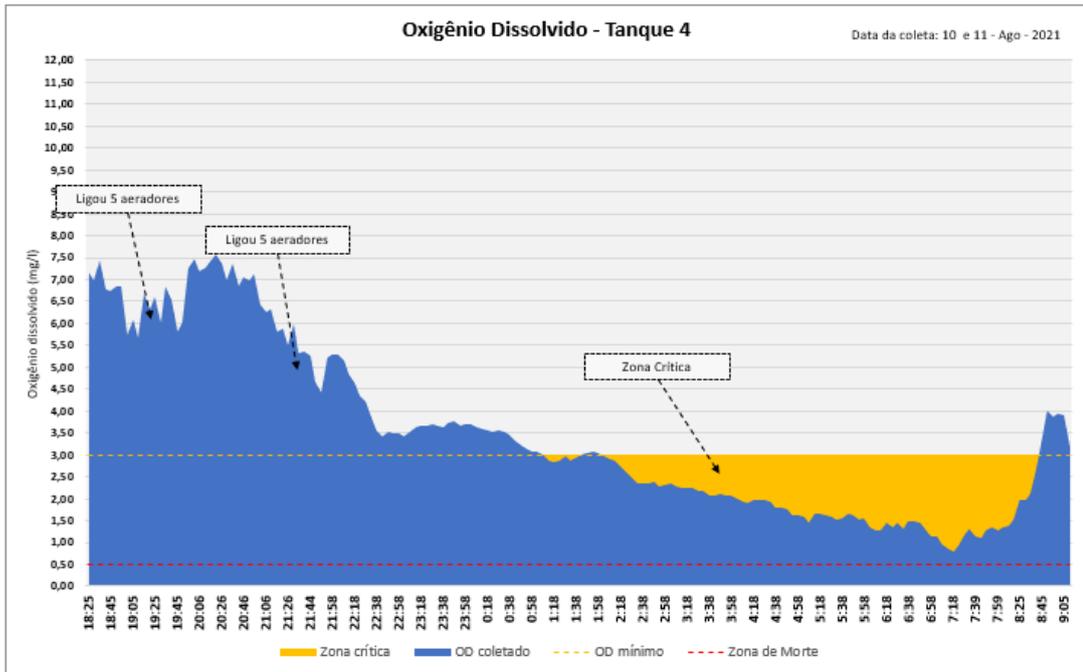
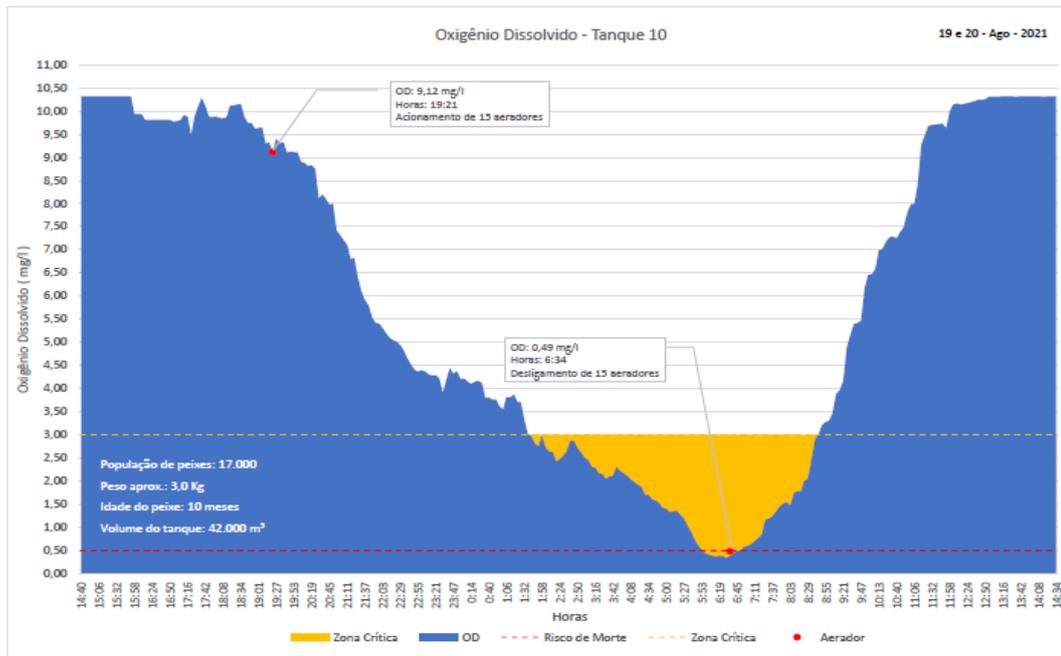


Gráfico 2 Oxigênio dissolvido tanque 10



## 4.2. RESULTADOS

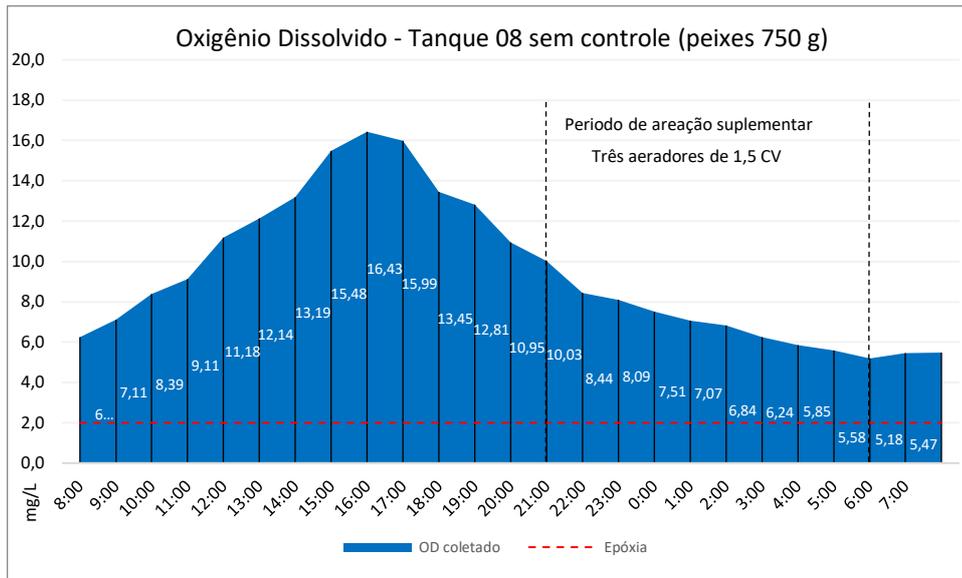
Para o desenvolvimento da EEMA foram realizados ensaios de laboratório e em campo, para avaliar a sua performance, aplicação e utilização. A EEMA (Figura 22) e todos os componentes utilizados nesta pesquisa tiveram um custo de aquisição de 600,00 dólares sem impostos em 2021, portanto podemos afirmar que é possível construir uma plataforma de baixo custo para monitorar e interagir com tanques de piscicultura na Amazônia Brasileira e otimizar a utilização dos recursos naturais, bem como gerar economia para o produtor. A EEMA demonstrou ser de fácil manuseio, acessível e de baixo investimento. O seu sistema de energia fotovoltaico atendeu a demanda de consumo de energia da EEMA, além de carregar as baterias para o fornecimento de energia durante o período noturno.

Gráfico 06 – Imagem da estação de monitoramento autônoma (EEMA) desenvolvida e testada em tanques de piscicultura comercial no estado do Amazonas.



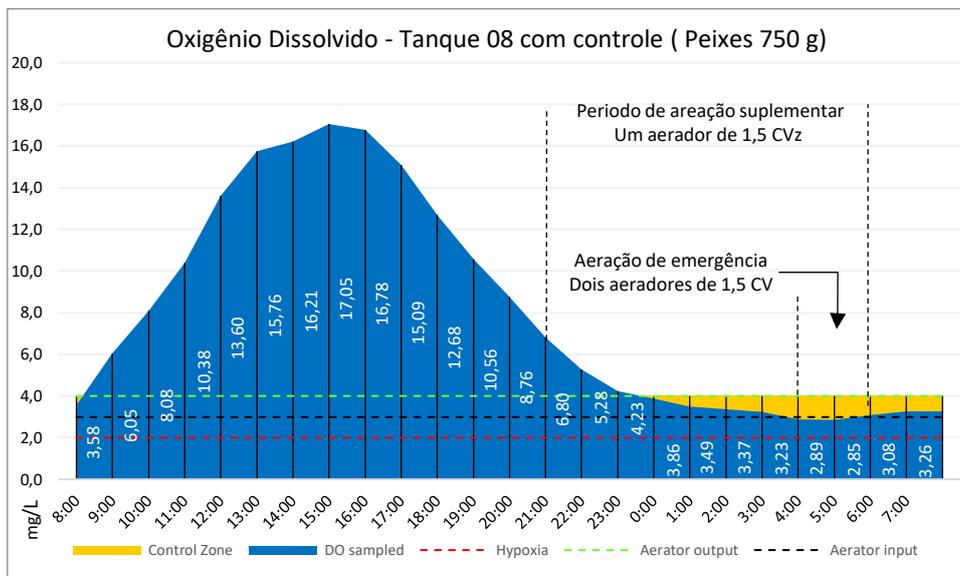
Os dados coletados (pH, OD e temperatura) estão representados nos gráficos a seguir, apresentando a média horária do período estudado. Na figura 03 é possível observar o gráfico da média dos dados de OD ao longo de 24 horas, e os pontos de entrada e saída da AS no tanque de peixes juvenis com peso de aproximadamente 750 g (tanque 8).

Gráfico 3 - Média de oxigênio dissolvido ao longo do dia demonstrando a entrada e saída da aeração suplementar no tanque 08. Na linha tracejada o limite mínimo que o tambaqui resiste de OD.



A figura 04 apresenta as mesmas informações da figura 03, com dados obtidos no mesmo tanque e nas mesmas condições, entretanto, está instalado o controle de entrada e saída da AE.

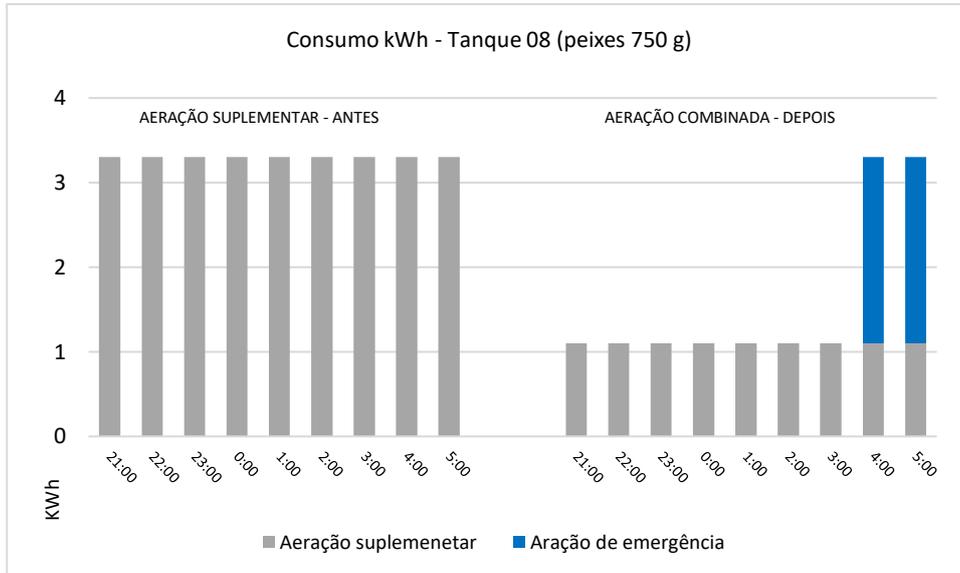
Gráfico 4 - Média oxigênio dissolvido ao longo do dia demonstrando a entrada e saída da aeração suplementar e aeração emergencial no tanque 08.



Com a utilização da EEMA para peixes juvenis a economia de energia elétrica chegou a 52% com a utilização da AC (aeração combinada), AS + AE, conforme figura 05. Estrapolando essa economia para todos os dias do mês e para 12 meses, temos a economia de

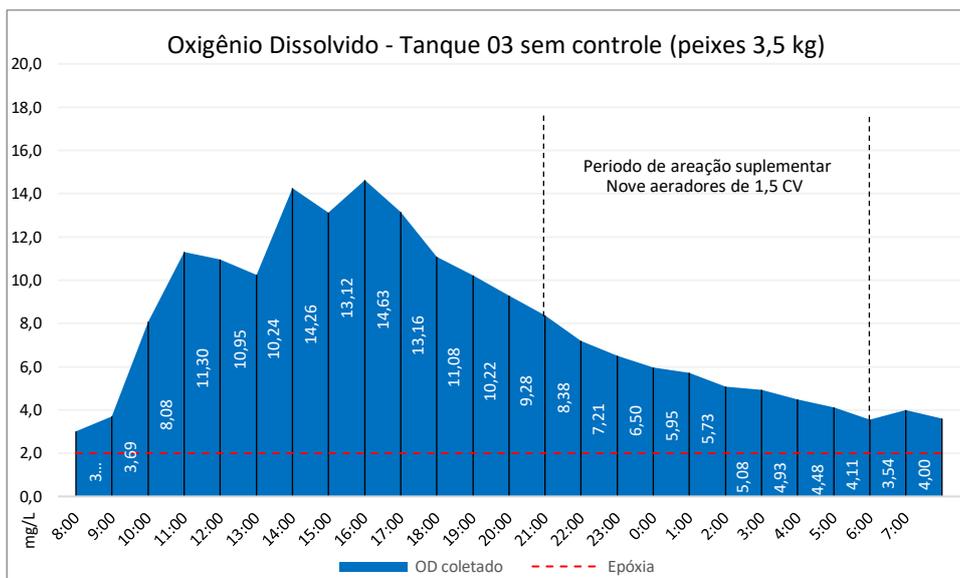
6.336 Kw, ou seja, de aproximadamente 1.000,00 dólares de economia anual em energia elétrica em um tanque nas condições citadas anteriormente.

Gráfico 5 - Gráfico da média de consumo em kWh dos aeradores do tanque 08 para os dois cenários (com controle e sem controle).



O gráfico 06 é possível observar a representação gráfica da média dos dados de OD ao longo de 24 horas, os pontos de entrada e saída da AS em tanque de peixes adultos com peso médio de 3,5 Kg (tanque 3).

Gráfico 6 - Média de oxigênio dissolvido ao longo do dia demonstrando a entrada e saída da aeração suplementar no tanque 03.



O gráfico 07 apresenta as mesmas informações do gráfico 06, com dados obtidos no mesmo tanque e nas mesmas condições, entretanto, está instalado o controle de entrada e saída da AE.

Gráfico 7 - Média oxigênio dissolvido ao longo do dia demonstrando a entrada e saída da aeração suplementar e aeração emergencial no tanque 03.

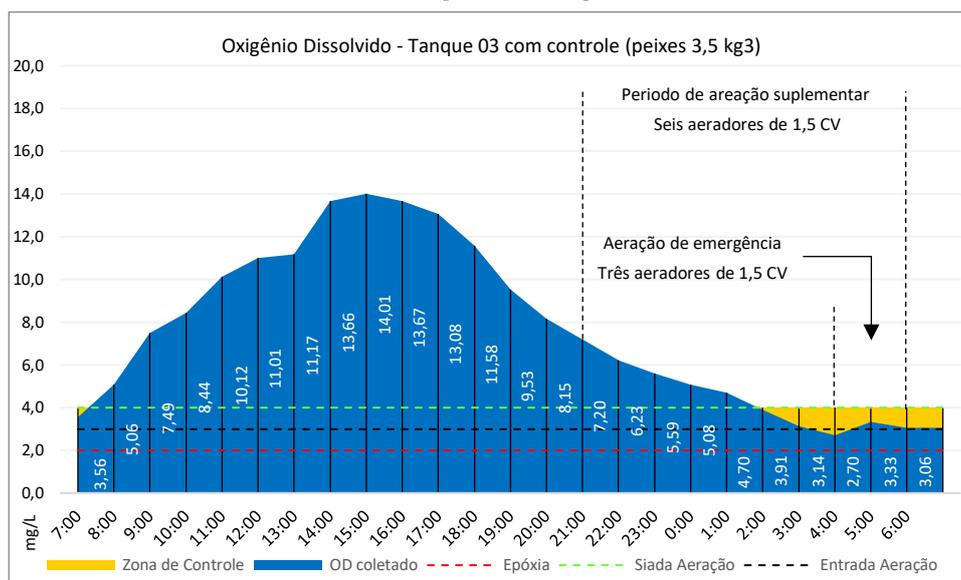
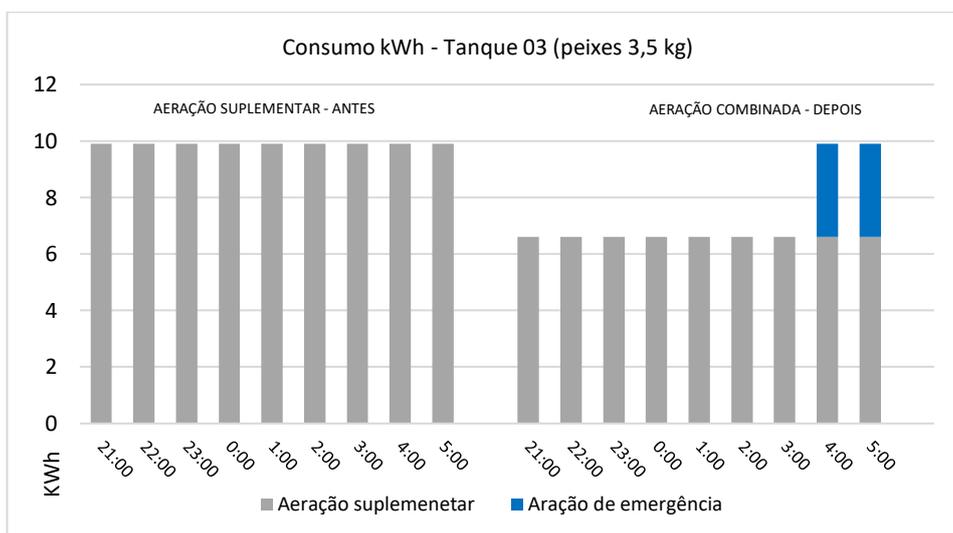


Gráfico 8 - Média de consumo em kWh dos aeradores do tanque 03 para os dois cenários (com controle e sem controle).



Integrando a EEMA no tanque de criação de peixes adultos alcançamos a economia de 26% de energia elétrica com a utilização da AC conforme gráfico 08. Estrapolando essa economia para todos os dias do mês e para 12 meses, temos a economia de 8.316 kW, ou seja, de aproximadamente 1.500,00 dólares de economia anual em energia elétrica em um tanque nas condições citadas anteriormente.

Assim como os dados de oxigênio dissolvido, os dados de temperatura (gráfico 9) e pH (gráfico 10) foram coletados seguindo a mesma metodologia, sendo que nos respectivos gráficos foram indicados os limites mínimo e máximo para cada parâmetro segundo Izel &

Melo (2004). As três sondas apresentaram resistência e confiabilidade durante o período de coleta de dados.

Gráfico 9 - Média de temperatura ao longo do dia no tanque 03 e 08.

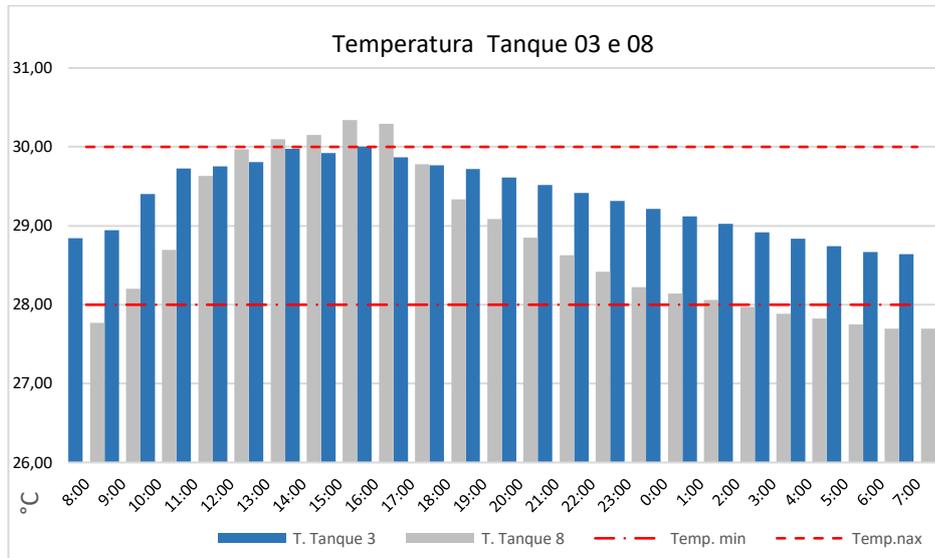
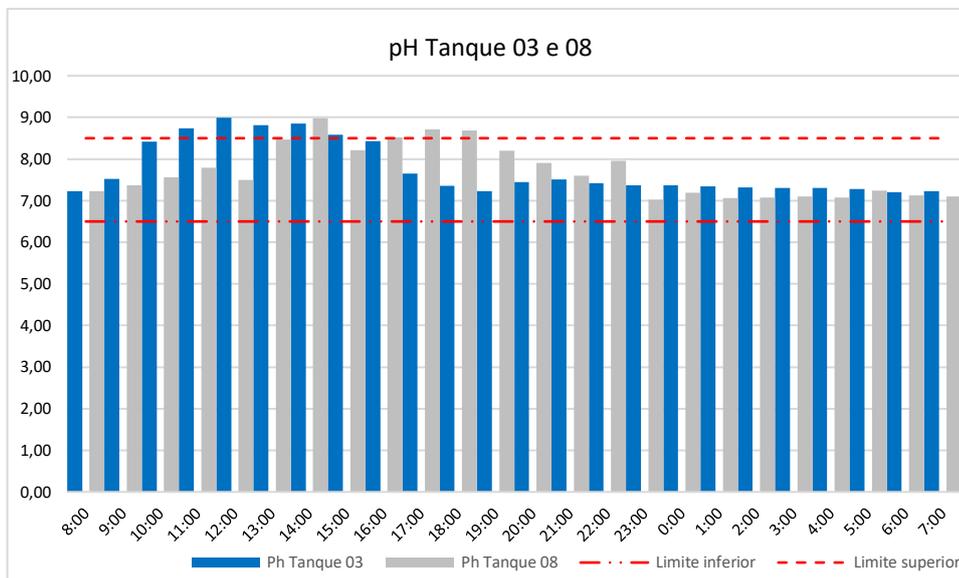


Gráfico 10 - Média de pH ao longo do dia no tanque 03 e 08



Os dados de temperatura e pH apresentaram resultados semelhantes entre os tanques, apesar do tamanho dos peixes serem distintos.

#### 4.3. DISCUSSÃO

O oxigênio dissolvido é uma das principais variáveis para ser controlada na piscicultura com alto povoamento, embora o nível de oxigênio dissolvido na água seja frequentemente considerado o principal parâmetro limitante para a intensificação da produção, ele é trivial de se controlar com tecnologias acessíveis de aeração ou oxigenação (Hargreaves 2006).

Atualmente, no Amazonas e em grande parte da região tropical, este controle é feito de forma manual, com aferições diárias ao amanhecer e ao entardecer.

Na piscicultura intensiva, a aeração é utilizada todas as noites, e quando níveis de OD estão baixos também ao longo de dias nublados, ou mesmo continuamente (Boyd et al. 2018). Em função dos aeradores apresentarem partida (ligação) manual, ocorrem desperdícios de energia, por manter o sistema ligado continuamente, e, além do necessário. Especialmente em função de não existir um controle contínuo dos níveis de concentração de oxigênio na água.

A aeração artificial é uma tecnologia que contribui na prevenção de casos de hipóxia em sistema de produção intensivo, através da otimização transferência de oxigênio entre a atmosfera e água (Boyd 1998). A manutenção da qualidade da água aumenta a produtividade, sobrevivência do cultivo e melhores taxas de crescimento dos peixes, que pode ser alcançada com instalação de aeradores e utilização de estratégias adequadas (Pawar et al. 2009, Ruiz-Velazco et al. 2010, Torrans et al. 2015). Todos estes benefícios estão diretamente relacionados a qualidade da água, que no caso do OD está diretamente relacionada com o consumo de energia elétrica, devido ao uso da aeração suplementar, principalmente no período da noite.

Existem dispositivos para ligar e desligar os aeradores automaticamente. Os temporizadores podem ser utilizados para ligar e desligar os aeradores em horários pré determinados. Empresas estão vendendo equipamentos que partem (ligam) e desligam os aeradores em resposta aos níveis de OD nas águas (Boyd 1998). Hoagland (1998) estudou o uso de energia em tanques de criação de camarão onde os aeradores eram ativados e desativados por sensores de OD, temporizadores e manualmente em detrimento às concentrações de OD. De acordo esse autor, os aeradores integrados a sensores de OD consumiram 62% menos eletricidade do que aqueles operados por temporizadores e 80% menos eletricidade do que aeradores operados manualmente. No presente estudo, encontramos uma economia de energia de 52% para peixes na fase juvenil e 26% para peixes adultos, o que demonstra a importância da utilização destes sistemas, para o benefício direto do produtor e indireto para o consumidor e meio ambiente.

Boyd (1998) preveiu que essa prática poderia ser melhorada e se tornar comum no futuro, entretanto, essa tecnologia não alcançou a utilização prevista inicialmente, muito em função do elevado custo das sondas e confiabilidade dos equipamentos. Com base nos resultados apresentados neste trabalho, a automação de baixo custo para o controle automático da aeração através da integração de sensores de oxigênio, e por consequência a redução do consumo de energia elétrica para esta tarefa pode estar próxima de ser alcançada.

Outras oportunidades de economia de energia no processo de aeração, é a seleção do tipo do aerador, segundo Tanveer et al. (2019), o sistema de aeração deve ser criteriosamente selecionado e adequadamente operado, o que contribui para a mitigação dos riscos ambientais na piscicultura intensiva e reduz o consumo de energia elétrica. Sanchez-Estrada et al. (2018), afirma que um dos aeradores com melhor rendimento no quesito OD, são os aeradores de bomba vertical.

Boyd (1990, 1998) sugeriu que a aeração durante a noite seja feita para atender o necessário para garantir o crescimento estável do cultivo na piscicultura, embora a aeração seja benéfica para a qualidade da água e crescimento dos peixes, o fornecimento em excesso de OD através da aeração leva a perdas consideráveis de energia elétrica, elevando o custo operacional, o que é refletido no valor final do produto. Portanto, o controle do acionamento e desligamento dos aeradores em função dos níveis de OD no tanque é de fundamental importância para a sustentabilidade econômica da piscicultura em tanques escavados de produção intensiva.

Atualmente existem estudos de um novo modelo de produção chamada de produção inteligente, onde os peixes passam a ser monitorados através de identificação biométrica, apesar de embrionários, Schraml (2021), avaliou esta possibilidade e concluiu que é possível identificar os peixes individualmente. Evidenciando que existe espaço para inserção de novas tecnologias na aquicultura.

Com os frequentes aumentos nas tarifas de energia, como ocorre atualmente no Brasil, trabalhos focados na redução do consumo de energia elétrica serão cada vez mais relevantes para a piscicultura. Este trabalho representa uma oportunidade de otimizar o processo de criação de peixes na Amazônia, utilizando a tecnologia de automação para reduzir o consumo de energia elétrica, além de auxiliar o produtor no monitoramento dos parâmetros de qualidade da água. Com o advento da indústria 4.0, em um futuro próximo estaremos vendo tanques integrados a bigdatas e controlados remotamente com auxílio de inteligência artificial.

# CAPÍTULO 5

---

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 5.1. CONCLUSÕES

- Após verificação dos valores utilizados para construção da EEMA, E dos resultados obtidos, foi confirmada a possibilidade de desenvolvimento de uma plataforma de baixo custo para automação dos aeradores.

- Ao concluirmos os estudos, ficou demonstrado que é possível reduzir o consumo de energia elétrica para a aeração dos tanques de piscicultura através do acionamento e desligamento automático dos aeradores em função dos níveis de oxigênio dissolvido presentes.

- Assim como esta plataforma nos auxiliou na coleta de dados para esta pesquisa, ela também pode auxiliar outras pesquisas de monitoramento da qualidade da água ou até mesmo em melhorias de processos, através do monitoramento e armazenamento dos dados de OD, temperatura e pH da água, em tanques de piscicultura sob diferentes formas de manejo e fase de desenvolvimento dos peixes.

- Durante a interação com os produtores, observamos outra aplicação da EEMA no que diz respeito ao dimensionamento da quantidade de aeradores nos tanques em diferentes fases de desenvolvimento dos peixes, pois os dados coletados pela EEMA auxiliam os técnicos a definirem a quantidade necessária de aeradores com maior acuracidade, assim evitando desperdício de energia e equipamentos.

### 5.2. OPORTUNIDADE IDENTIFICADAS

Ao iniciar o presente projeto tinha-se em mente a oportunidade de reduzir o consumo de energia elétrica com a leitura do oxigênio dissolvido em tempo integral e através desta informação comandar o acionamento e desacionamento dos aeradores de modo a garantir as condições mínimas para o desenvolvimento da espécie cultivada, entretanto ao iniciar a pesquisa em campo foi possível observar, mais duas oportunidades de utilização da estação de monitoramento da qualidade da água para a economia de energia elétrica, que são elas, a primeira foi de identificar o momento exato para iniciar a utilização de aeração nos tanques com peixes na fase juvenil e a segunda é de auxiliar no dimensionamento da quantidade necessária de aeradores em cada período do ciclo de criação até a período de despesca.

Outros pontos positivos também foram identificados com a utilização da estação de monitoramento de qualidade da água; Com o monitoramento em tempo integral dos parâmetros químico da água é possível identificar o ponto ótimo de povoamento de cada tanque, garantindo a eficiência na utilização do tanque, maior produtividade e menor índice de mortes de peixes com a mesma área e recursos empregados, proporcionando redução no custo final do pescado, também é possível com o uso da estação de monitoramento definir ao término de qual ciclo de produção o momento para realizar a limpeza completa da matéria orgânica no fundo do tanque, como isso evitar a limpeza prematura desperdiçando energia elétrica durante o abastecimento de água nos tanques ou retardo da limpeza que obriga a maior utilização dos aeradores e por consequência o desperdício de energia elétrica.

### 5.3. SUGESTÕES TRABALHOS FUTUROS

- Integrar os dados coletados pelo EEMA á banco de dados hospedados em servidores remotos, para registro de dados históricos
- Desenvolvimento de aplicativo para celular, com interface intuitiva para ser utilizado pelos trabalhadores das propriedades rurais.
- Utilizar inteligência artificial para o rodízio na utilização dos aeradores, com isso prolongar a vida útil e reduzir manutenção.
- Pesquisa de integração da EEMA junto a um sistema automático de alimentação dos peixes.
- Com o auxílio da EEMA pesquisar a utilização de mais de um tipo de aerador com o objetivo de otimizar a fixação de oxigênio na água dos tanques de piscicultura.

## REFERÊNCIAS

- ANJOS, M.R.; SOUZA, V.C.; SANTIAGO, N.G.M.; BIUDES, M.S.; FULAN, J.A. 20015. piscicultura no sudoeste da Amazônia brasileira: o caso de Rondônia em 2009. *Global Science And Technology*, 8 (2): 143-152.
- ARANA, L. V. 2006. Fundamentos de Aquicultura. Florianópolis Ed. UFSC 349.
- ARANA, L. V. 2006. Fundamentos de Aquicultura. Florianópolis Ed. UFSC 349 p.
- ARDUINO.CC 2018. Arduino software (IDE). Disponível em: < <https://www.arduino.cc/en/Guide/Environment> > Acesso: em 12 de Out de 2021.
- ARDUINO.CC 2018. O que é Arduino. Disponível em: < <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>> Acesso: em 12 de Out de 2021.
- BAUMGARTEN, M.G.Z. & ROCHA, J.M.B. & NIENCHESKI, L.F.H., 1996. Manual de análises em oceanografia química. Ed. Furg, Rio Grande, 132.
- BLUESOL. 2012 Energia Solar. Disponível em < <http://www.blue-sol.com/>> Acesso: em 12 de Out de 2021
- BOYD, C. E. AND QUEIROZ, J. F. (2004) Manejo das condições do sedimento do fundo e da qualidade da água e dos efluentes de viveiros. In: Cyrino, J. E. P.; Urbinati, E. C.; Fracalossi, D. M.; Castagnolli, N. (Ed.). Tópicos especiais em piscicultura de água doce tropical intensiva. São Paulo: TecArt, p. 25-44.
- BOYD, C.E. & TUCKER, C.S. 1998. Pond aquaculture water quality management. Kluwer Academic Publishers, Massachusetts, 700.
- BOYD, C.E. (1990) Water Quality in Ponds for Aquaculture, Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University, Alabama, pp. 482
- BOYD, C.E. (1998) Pond water aeration systems. *Aquaculture Engineering*. 18, 9–40. Available online at [https://doi.org/10.1016/S0144-8609\(98\)00019-3](https://doi.org/10.1016/S0144-8609(98)00019-3).
- BOYD, C.E., TORRANS, E.L. AND TUCKER, C.S. (2018). Dissolved Oxygen and Aeration in Ictalurid Catfish Aquaculture. *Journal of the World Aquacult Society*. 49: 7-70. Available online at <https://doi.org/10.1111/jwas.12469>
- BUHLER A. J. 2017. Estudo de técnicas de determinação experimental e pós processamento de curvas características de módulos fotovoltaicos. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/30213>>. Acesso: em 12 de Out de 2021.
- CAVERO, B. A. S. & RUBIM, M. A. L. & MARINHO-PEREIRA, T. 2009. Criação comercial do tambaqui *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1818). In TAVARES DIAS, M. Organizador. Manejo e sanidade de peixes em cultivo [recurso eletrônico]. Macapá: Embrapa Amapá.
- COLPANI. 2013 Sistemas focados na produtividade. Sistemas de produção na cadeia de aquicultura. Disponível em:< <https://www.grupoalgasclaras.com.br/sistemas-de-producao-na-cadeia-de-aquicultura>>. Acesso: em 12 de Out de 2021.

COSTA, B. B. (2012) Densidade de estocagem de Lambari (*Astyanax altiparanae*) em tanques-rede. 48f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia). Universidade Federal de São Carlos/UFSCar, São Carlos, 2012.

CREPALDI, D. V.; TEIXEIRA E.A.; FARIA, P.C.M.; RIBEIRO, L.P.; MELO, D.C.; CARVALHO, D.; SOUSA, A.B. & SATURINO, H.M. 2006. Sistemas de produção na piscicultura. *Revista Brasileira de Reprodução Animal*, 30: 86-99.

CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. Grupo de Trabalho de Energia Solar – GTES. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Rio de Janeiro, CRESESB, 2004.

ESTEVES, F.A. 1988. Fundamentos de limnologia. Rio de Janeiro: Interciência : FINEP. 575.

FAO. 2014. The State of World Fisheries and Aquaculture. Rome: Roma, 223p.

FERREIRA, E. J. G. 2009 Recursos pesqueiros amazônicos: uma análise conjuntural. TO MO II. Manaus: INPA. 1, 150.

GOMES LC. & GOLOMBIESKI, J. & CHIPPARI-GOMES AR. & BALDISSEROTTO B. 2000. Biologia do Jundiá (*Rhamdia quelen* Teleostei, Pimelodidae). *Ciência Rural* 30.179-185.

GRAEFF, Á. & TOMAZON, A. F. & PRUNE, E. N. & MARAFON, A. T. 2007 Influência da dureza e do ph no desenvolvimento do jundiá (*Rhamdia quelen*) na fase de fertilização até a produção de pós-larvas. REDVET. *Revista Eletronica Veterinária* n 9.

GUEDES, I. 2019 Falta de energia elétrica atinge 2 milhões de pessoas na Amazônia, aponta instituto. A Crítica. Manaus. Disponível em: <https://www.acritica.com/channels/governo/news/falta-de-energia-eletrica-atinge-2-milhoes-de-pessoas-na-amazonia-aponta-instituto>>. Acesso: em 12 de Out de 2021.

HARGREAVES, J.A. (2006) Photosynthetic suspended-growth systems in aquaculture. *Aquaculture Engineering*. 34, 344–363. Available online at <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2005.08.009>.

HOAGLAND, R.H (1998) Energy efficiency of an automated aeration control system for shrimp ponds, M.Sc. thesis, Auburn University, Alabama.

HOAGLAND, RICHARD; ROUSE, D.; TEICHERT-CODDINGTON, D. AND BOYD, CLAUDE. (2001) Evaluation of Automated Aeration Control in Shrimp Ponds. *Journal of Applied Aquaculture*. 11. 45-55. 10.1300/J028v11n03\_04.

IDAM. 2011. Disponível em: < <http://www.idam.am.gov.br/em-15-anos-piscicultura-cresce-no-amazonas/>> Acesso em: 12 de Out de 2021

IST; DGS; UE. Energia fotovoltaica, manual sobre tecnologias, projecto e instalação. 2004. Disponível em:< <https://www.portal-energia.com/downloads/guia-tecnico-manual-energia-fotovoltaica.pdf> > Acesso: em 12 de Out de 2021

IZEL, A.C.U. AND MELO, L.A.S. (2004) Criação de tambaqui (*Colossoma macropomum*) em tanques escavados no Estado do Amazonas. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 20 p. (Embrapa Amazônia Ocidental. Documentos, 32).

IZEL, A.C.U.; CRESCÊNCIO, R.; O’SULLIVAN, F.F.L.A.; CHAGAS, E.C.; BOIJINK, C.L. AND SILVA, J.I. (2013) Produção intensiva de tambaqui em tanques escavados com aeração. 1 ed., Embrapa Amazônia Ocidental. Manaus.

KUBITZA F. 2009. Manejo na produção de peixes. Panorama da Aqüicultura. Rio de Janeiro. 19 (14): 14-23.

KUBITZA, F. (2008) Qualidade da água na produção de peixes–parte (final), Panorama Aqüicultura, vol. 8, pp. 35–43.

KUBITZA, F. Qualidade da água no cultivo de peixes e camarões. Jundiaí: Fernando Kubitza, 2003.

LIMA, M.L. 2005. Os fluxos de conhecimentos na piscicultura do estado do Amazonas: uma análise da trajetória e das condições institucionais, Revista ConTexto, 5: 1-2.

LOURES, B. T. R. R., RIBEIRO, R. P., VARGAS, L., MOREIRA, H. L. M., SUSSEL, F. R., POVH, J. A., & CAVICHILO, F. 2008. Manejo alimentar de alevinos de tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus* (L.), associado às variáveis físicas, químicas e biológicas do ambiente. Acta Scientiarum. Animal Sciences, 23. 877-883.

MAZEAUD MM. & MAZEAUD F. & DONALDSON ME. 1977 and secondary effects of stress in fish: some data with a general review. Transactions of the American Fisheries Society 106. 201-212.

MELO, L. A. S. & IZEL, A. C. U. & RODRIGUES, F. M. 2001. Criação de Tambaqui (*Colossoma macropomum*) em viveiros de argila/barragens no Estado do Amazonas. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 30.

MINISTÉRIO DA PESCA E AQUICULTURA (MPA). 2008. Boletim estatístico da pesca e aquicultura Brasil 2008-2009. Disponível em: <http://www.mpa.gov.br/files/docs/Publicidade/anu%C3%A1rio%20da%20pesca%20completo2.pdf>. Acesso: em 12 de Out de 2021.

MINUCCI, L.V.; PINESE, J.F. AND ESPÍNDOLA, E.L.G. (2005) Análise limnológica de sistema semi-intensivo de criação de *Leporinus Macrocephalus* (Pisces, Anostomidae) [Internet]. Bioscience Journal, 21: 123-131. Available online at: <http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/download/6571/4305>

MUIR, J.F. & YOUNG, J.A. 1998. Aquaculture and Marine Fisheries: Will Capture Fisheries Remain Competitive? J. Northw. Atl. Fish. Sci, 23: 157–174.

MURGAS, L. D. S. & FELIZARDO, V. O. & FERREIRA, M. R.; VERAS, G. C. & ANDRADE, E. S. & JESUS, D. A. 2012. Eficiência reprodutiva em espécies nativas de peixes de água doce. Ciência Animal. Palestra - VI Congresso Norte Nordeste de Reprodução Animal, Fortaleza, CE, Brasil, 27 a 29 de junho de 2012. 197.

NUNES, A. 2015 Aeração Mecânica na Engorda de Camarões Marinos. Panorama da Aqüicultura. São Lourenço da Mata, Pernambuco; 70. Disponível em: < <http://www.panoramadaaquicultura.com.br/paginas/Revistas/70/aeradores.asp>>. Acesso: em 12 de Out de 2021.

OLIVEIRA, A. K. C. & OLIVEIRA, I. R. S. 2014. A influência da temperatura nas histórias de vida de vertebrados. *Revista da Biologia*, 12: 8 –15.

PAWAR, N.A.; JENA, J.K.; DAS, P.C. AND BHATNAGAR, D.D. (2009) Influence of duration of aeration on growth and survival of carp fingerlings during high density seed rearing. *Aquaculture* 290, 263-268. Available online at <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.02.030>.

PEIXEBR. 2020. Anuário peixebr 2020 Disponível em: < <https://www.seafoodbrasil.com.br/anuario-peixebr-2020-crecimento-de-49-da-piscicultura-nacional-> > Acesso: em 12 de Out de 2021.

PIEDRAS, S. R. N. & MORAES, P. R. R. & POUHEY, J. L. O. F. 2004. Crescimento de juvenis de jundiá (*Rhamdia quelen*), de acordo com a temperatura da água. *Boletim Instituto de Pesca*. 30 (2): 177-182.

PINHO JT & GALDINO MA. 2014. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. Disponível em: [http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual\\_de\\_Engenharia\\_FV\\_2014.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf). Acesso: em 12 de Out de 2021.

ROBERTS RJ. & SOMMERVILLE C. 1982. Diseases Of Tilapia. In: Pullin RSV and McConnel RH (ed) *The biology and culture of tilapias*. ICLAM, Manila, 247-263.

RUIZ-VELAZCO, J.M.J.; HERNÁNDEZ- LLAMAS, A. AND GOMEZ-MUNOZ, V.M. (2010) Management of stocking density, pond size, starting time of aeration, and duration of cultivation for intensive commercial production of shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture Engineering*. 43, 114-119. Available online at <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2010.08.002>.

SAINT-PAUL, U. 1986. Potential for aquaculture of South America freshwater fish: a review. *Aquaculture*, 54. 205-240,

SANCHEZ-ESTRADA, M. DE L., GARCIA-TREJO, J.F, CALTZONTZIN-RABELL, V., CHAVEZ-JAIME, R. ALVAREZ-ARQUIETA, L. DE L. AND ALATORRE-JACOME, O. (2018) Fatores para aumentar a densidade de estocagem usando Tecnologia BioFloc na produção de tilápia: Uma mini revisão. IN: XIV Congresso Internacional de Engenharia (CONIIN), pp. 1-5. Available online at doi: 10.1109/CONIIN.2018.8489813.

SARDELLA BA. & COOPER J. & GONZALEZ RJ. 2004. The effect of temperature on juvenile Mozambique tilapia hybrids (*Oreochromis mossambicus* x *O. urolepis hornorum*) exposed to full-strength and hypersaline seawater. *Comp. Biochem Physiol. Part A* 137. 621-629.

SCHRAML, R.; HOFBAUER, H.; JALILIAN, E.; BEKKOZHAYEVA, D.; MOHAMMADMEHDI, S.; CISAR, P.; UHL, A. (2021) Towards Fish Individuality-Based Aquaculture,. In: *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 17, no. 6, pp. 4356-4366. Available online at doi: 10.1109/TII.2020.3006933.

SCORVO-FILHO, J. D. 2003. Panorama da aquicultura nacional. *Informes Técnicos – Associação Catarinense de Aquicultura*. 6p. Disponível em:< [ftp://ftp.sp.gov.br/ftppesca/panorama\\_aquicultura.pdf](ftp://ftp.sp.gov.br/ftppesca/panorama_aquicultura.pdf) > Acesso: em 12 de Out de 2021.

SIDONIO, L.; CAVALCANTI, I.; CAPANEMA, L.; MORCH R.; MAGALHÃES, G.; LIMA, J.; BURNS, V.; ALVES JUNIOR, A. J.; MUNGIOLI, R. 2012. Panorama da aquicultura no Brasil: desafios e oportunidades. BNDES Setorial, 35 (1): 421-463.

SILVA, V. K. & FERREIRA, M. W. & LOGATO, P. V. R. 2001. Qualidade da água na Piscicultura. Boletim de Extensão da UFLA, Lavras, MG, 94.

SIPAÚBA-TAVARES, L. H. & FREITAS, A. M. & BRAGA, F. M. S. 1999. The use of mechanical aeration and its effects on water mass. Rev. Brasil. Biol., 59. 33-42.

Tanveer, M.; Subha, R; Vikneswaran, M.; Renganathan, P and Balasubramanian, S. (2019) Surface aeration systems for application in aquaculture: A review. International Journal of Fisheries and Aquatic Studies; 6(5): 342-347.

TIDWELL, J. (2012) Aquaculture production systems. Ames: J. Wiley, 440 p.

TORRANS, E.L., OTT, B. AND BOSWORTH, B.G. (2015) Impact of minimum daily dissolved oxygen concentration on production performance of hybrid female channel catfish male blue catfish. North American Journal of Aquaculture 77, 485–490. Available online at <https://doi.org/10.1080/15222055.2015.1059914>.

TUCKER, C. 2005. Pond Aeration. Southern Regional Aquaculture Center. SRAC Publication 3700.

Tucker, C. S. and Hargreaves, J. A. (2008) Environmental best management practices for aquaculture. Oxford: Wiley-Blackwell, 592 p.

URBINATI, E.C. & CARNEIRO, P.C.F. 2004. Práticas de Manejo e Estresse dos Peixes em Piscicultura Intensiva. In Cyrino, J.E.P.; Urbinati, E.C.; Castagnolli, N. (Eds.). Tópicos Especiais em Piscicultura Tropical. Editora TecArt. 171-193.

VILLAÇA, A. L. A 2011 implantação de mini-redes de energia solar em comunidades isoladas do Amazonas. Lavras: UFLA.

VILLALVA MG, GAZOLI JR. 2012. Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações. São Paulo: Érica.

VINATEA, A.L., 1997. Princípios químicos da qualidade da água em aquicultura. Editora da UFSC: Florianópolis, 166.

YAMAMOTO, Y. & ZHANG, Y. & SARIDA, M. & HATTORI, R. S. & STRUSSMANN, C. A. 2014. Coexistence of Genotypic and Temperature-Dependent Sex Determination in *Pejerrey Odontesthes bonariensis*. PLoS ONE 9(7): e102574.