



CENTRAL DE CONTROLE DE SENSORES DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO

Bárbara Coelho¹, Daniel Lohmann², Renan Augusto Starke³

Resumo: A aquicultura no Brasil é um mercado que apresentou um grande crescimento nos últimos anos, sendo a tilápia uma espécie relevante para esse crescimento. A principal exigência do cultivo de peixes é o controle da quantidade de oxigênio dissolvido na água. Com o controle adequado desse parâmetro, visa-se obter um aumento de produtividade, diminuição de riscos de perda e otimização dos usos de energia e de ração, proporcionando uma maior eficiência nas produções aquícolas. Assim, esse artigo tem como objetivo apresentar o desenvolvimento de um sistema automático para o monitoramento, controle e acionamento de medidas preditivas, preventivas e emergenciais para o cultivo de camarões e peixes em cativeiro controlando continuamente o nível de oxigênio dissolvido nos tanques de produção aquícola.

Palavras-chave: Central de controle. Sensor de oxigênio dissolvido. Comunicação de dados. Internet das coisas (IoT).

Abstract: *The aquaculture market in Brazil has experienced significant growth in recent years, with tilapia being a prominent species driving this expansion. A crucial aspect of successful fish cultivation is maintaining optimal dissolved oxygen levels in the water. By effectively controlling this parameter, producers can enhance productivity, optimize energy and feed usage, and ultimately increase overall aquaculture output. This article introduces a product designed to continuously monitor and regulate dissolved oxygen levels in aquaculture production tanks. The system automatically activates aerators and enables remote monitoring through IoT technology, ensuring optimal water quality and maximizing fish health and growth.*

Keywords: *Control center. Dissolved oxygen sensor. Data communication. Internet of things (IoT).*

¹ Especialista em Desenvolvimento de Produtos Eletrônicos, IFSC/Florianópolis <barbaracoelho1995@gmail.com>.

² Professor do Departamento Acadêmico de Eletrônica (DAELN), IFSC/Florianópolis <daniel.lohmann@ifsc.edu.br>.

³ Professor do Departamento Acadêmico de Eletrônica (DAELN), IFSC/Florianópolis <renan.starke@ifsc.edu.br>.

1 INTRODUÇÃO

Esse artigo apresenta o desenvolvimento de um sistema embarcado comercial que consiste em trazer para o setor de aquicultura, em especial o cultivo de peixes em cativeiro, um sistema automático de monitoramento, controle e acionamento de medidas preditivas, preventivas e emergenciais. Visa-se a capacidade de reduzir custos, aumentar produtividade, além de ter um monitoramento e rastreabilidade das variáveis para planejamento futuro da produção.

De acordo com Coddington e Green (1993), aplicando o controle da aeração em viveiros, observou-se melhorias de 18% a 21% no crescimento, 3% a 5% na sobrevivência e de 21% a 25% na produção de tilápias. Além das melhorias em suas produções, ao adotar um controle de aeração, os produtores poderão ter acesso remoto das informações obtidas pelo sistema para a verificação das condições dos ambientes de produção. Esses dados também servirão como registro histórico para análises e planejamentos de produções futuras.

Segundo piscicultores e vendedores de produtos aquícolas de Santa Catarina, atualmente o controle de oxigênio dissolvido nos tanques de produção é realizado de modo manual ou com o auxílio de temporizadores (*timers*). Os aeradores são acionados em determinados horários ao longo do dia para garantir a oxigenação dos tanques.

O modelo de projeto utilizado como base no desenvolvimento deste trabalho é o PRODIP (Processo de Desenvolvimento Integrado de Produtos) sendo um modelo desenvolvido inicialmente pelo Núcleo de

Desenvolvimento Integrado de Produto (NEDIP) (BACK *et al.*, 2008). Mais especificamente a etapa de projeto.

Este artigo está dividido da seguinte forma: apresenta-se o projeto informacional na Seção 2, a Seção 3 trata do projeto conceitual, o projeto preliminar do produto na Seção 4, o desenvolvimento do protótipo na Seção 5 e por fim, na Seção 6, a conclusão.

2 PROJETO INFORMACIONAL

Nesta seção é definido o problema, em seguida é apresentada a definição do problema, a pesquisa de mercado, os concorrentes, os requisitos e restrições do projeto e, por fim, uma breve definição do produto.

2.1 Definição do Problema

Na piscicultura são utilizados tanques para a produção de peixes, onde há a necessidade de se fazer a reposição de oxigênio. O oxigênio dissolvido na água, além de ser usado na respiração do peixe, também ajuda na decomposição dos materiais orgânicos (FIORUCCI; FILHO, 2005) que estão presentes no tanque, como restos de alimentos e fezes do peixe. Para se realizar essa reposição de oxigênio são utilizados os aeradores nos tanques.

Segundo Kubitza (2017), o oxigênio é essencial para a respiração dos peixes, quanto maior a concentração de oxigênio na água melhor será o processo de respiração. Essa concentração de oxigênio nos tanques de produção depende de diversos fatores como: temperatura, salinidade, fotossíntese, respiração dos peixes, altitude, pressão atmosférica, luminosidade, vento, chuva, biomassa estocada, taxa de alimentação, qualidade do alimento etc. Essas características tornam cada tanque ou viveiro de cultivo único, tendo seu próprio regime e níveis de oxigênio que necessitam de monitoramento individual.

A tilápia é a espécie de peixe em cultivo mais produzida no Brasil. Essa espécie é extremamente tolerante a baixas concentrações de oxigênio dissolvido, podendo suportar níveis próximo de zero por horas sem morrer. Contudo, quando exposta a níveis baixos de oxigênio, ela apresenta prejuízo no crescimento e na conversão alimentar e, se exposta frequentemente, fica mais susceptíveis a doenças.

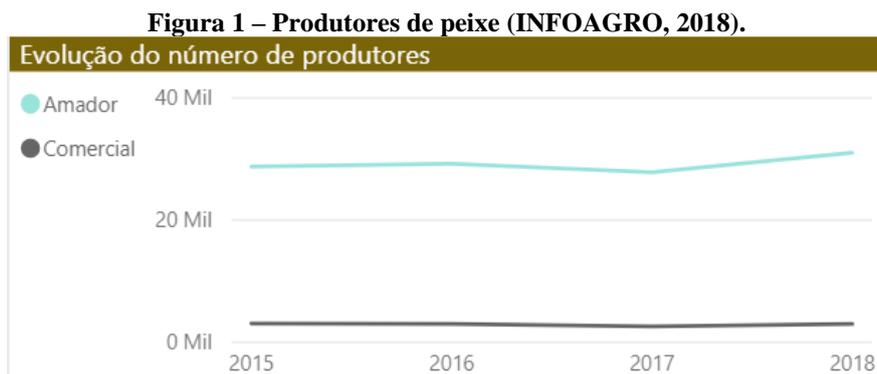
2.2 Mercado

Segundo a Associação Brasileira de Piscicultura (PEIXE BR, 2020). O mercado brasileiro de piscicultura gera cerca de 1 milhão de empregos diretos e indiretos e em 2018 produziu cerca de 772.560 toneladas de peixe. O Brasil é o quarto maior produtor mundial de tilápia, o que representa 55,4% da produção nacional de peixes de cultivo.

Com base nas informações fornecidas pelo Infoagro (2018), os dados são coletados anualmente pelos extensionistas da Epagri, os quais atuam nos 295 municípios do estado. Essas coletas de dados são realizadas pelos técnicos da Epagri, por meio de consultas aos produtores. Para os produtores de peixes, o levantamento de dados é separado em produtores profissionais e amadores. Os profissionais são os que produzem regularmente para meios comerciais, usando técnicas e equipamentos, com o intuito de aumentar a produtividade. E os amadores, os que produzem para autoabastecimento, lazer e vendas eventuais. Desse modo, os produtores comerciais são os potenciais usuários do sistema apresentado nesse artigo.

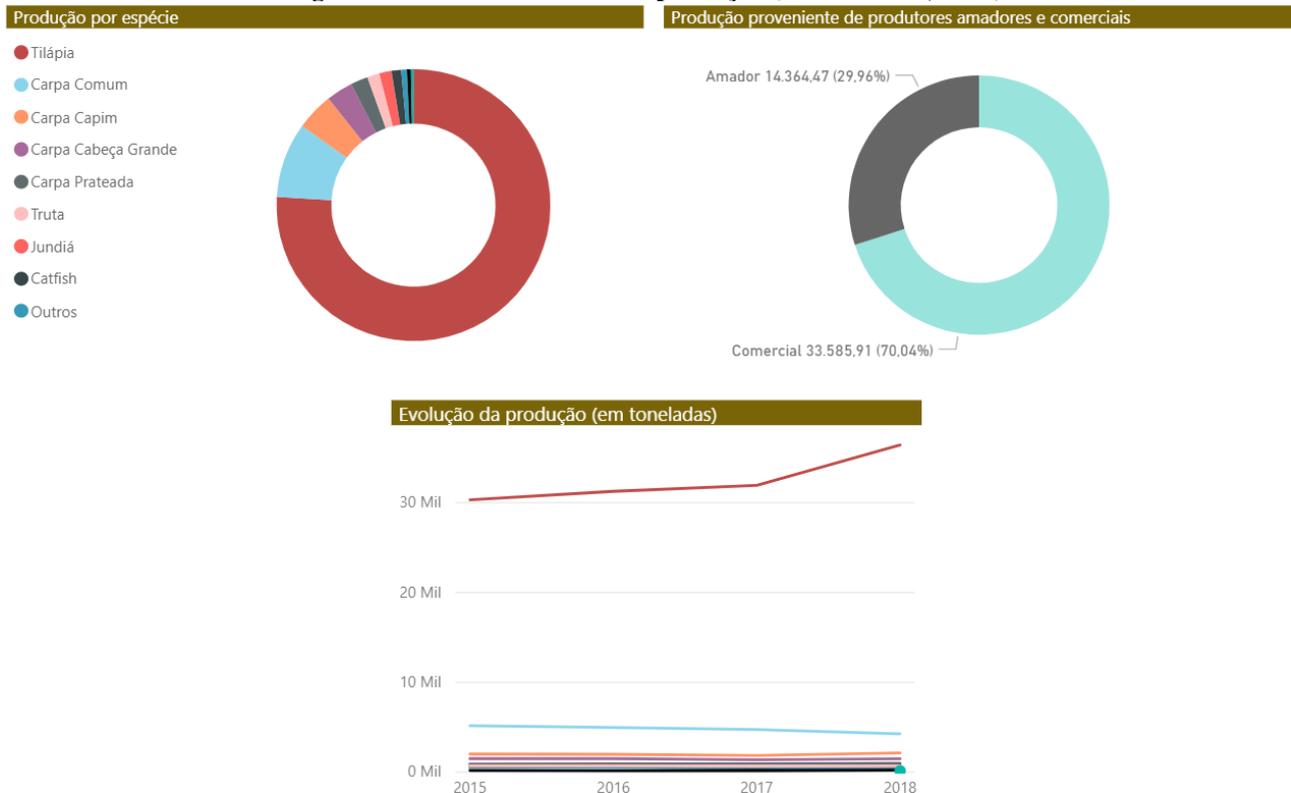
No site do Infoagro (2018) é apresentado um mapa interativo com os dados coletados pelos extensionistas da Epagri. Até o momento em que foi escrito esse artigo, a última atualização do site é do ano de 2018.

A Figura 1 apresenta o gráfico de evolução do número de produtores, comerciais e amadores, no estado de Santa Catarina. Para o ano de 2018, havia 31.009 produtores amadores e 2.985 produtores comerciais. Os produtores comerciais, mesmo representando apenas 8,8% do total de produtores, produzem 70,04% da produção de peixes no estado.



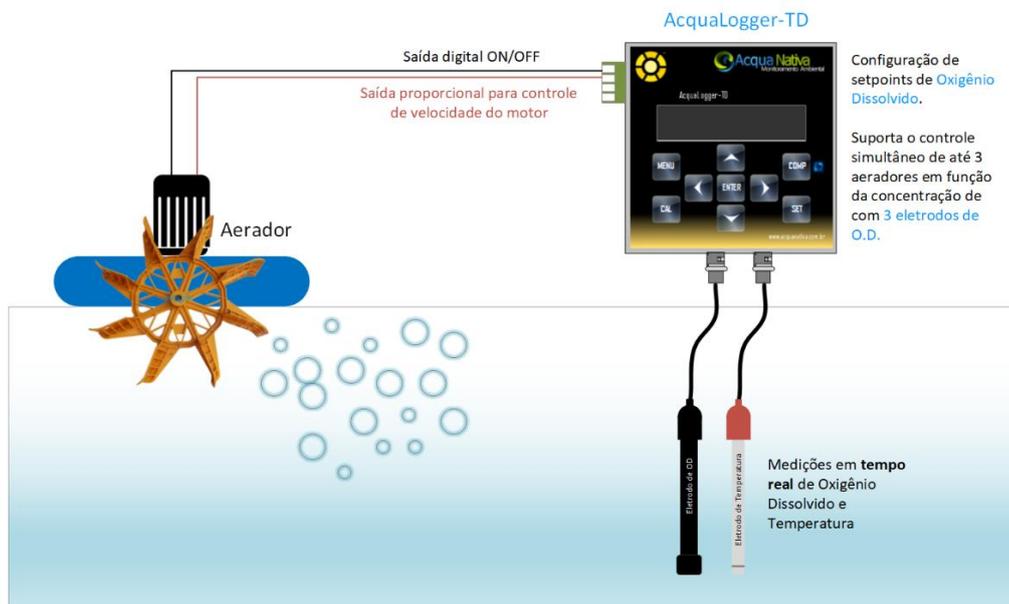
A Figura 2 apresenta um gráfico com a produção por espécie, onde a tilápia representa 75,98% e o gráfico de produção proveniente de produtores amadores e comerciais, sendo 29,96% amadores e 70,04% comerciais.

Figura 2 – Gráficos e tabelas de produção (INFOAGRO, 2018).



O concorrente que possui o produto mais semelhante ao desenvolvido neste trabalho é a empresa Acqua Nativa Monitoramento Ambiental. O produto desenvolvido é o AcquaLogger-TD (Figura 3), um Controlador de Oxigênio Dissolvido para monitoramento de qualidade da água, controle e acionamento de dispositivos. O produto usa a sonda de oxigênio dissolvido eletroquímica da empresa Atlas Scientific, com o custo para uma unidade de US\$ 218,00 dólares, valor obtido no site oficial da empresa no dia 14 de julho de 2020 (ATLAS SCIENTIFIC, 2020). Foi solicitado o orçamento, com a empresa Acqua Nativa, dos produtos Controlador de Oxigênio Dissolvido e do Eletrodo galvânico de Oxigênio Dissolvido e foi obtido os valores respectivos de R\$ 1.750,00 e R\$ 1.325,00.

Figura 3 – Controlador AcquaLogger-TD (ACQUA NATIVA MONITORAMENTO AMBIENTAL, 2020),



Especificações do produto AcquaLogger-TD:

- leituras de oxigênio dissolvido (OD) entre 0 e 100 mg/l com precisão de $\pm 0,05$ mg/l;
- leituras de Temperatura entre -55 e 125 °C com precisão de $0,1$ °C;
- 4 saídas digitais a relé;
- 4 entradas digitais;
- 2 saídas analógicas 0 a 10 V com 12 bits de resolução;
- 4 entradas analógicas 0 a 10 V com 12 bits de resolução;
- *display* LCD alfanumérico para visualização local;
- memória não-volátil para armazenamento de até 1.000 registros;
- transmissão e conectividade: EIA-485 com protocolo Modbus RTU;
- telemetria de dados via GPRS, Ethernet;
- alimentação $24 V_{CC}$ (customizável para $110 V_{CA}$ ou $220 V_{CA}$).

2.3 Requisitos e Restrições de Projeto

Os requisitos e as restrições do projeto consideraram as necessidades imediatas dos futuros usuários bem como especificações de sensores, interfaces de comunicação e custos. Tais requisitos e restrições são sintetizadas abaixo:

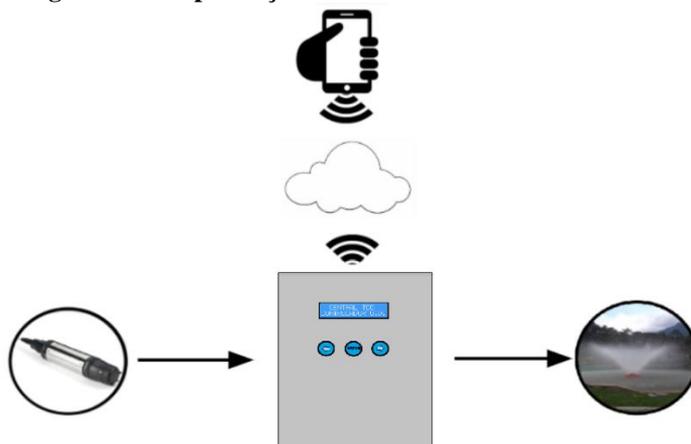
- Requisitos:
 - entradas para comunicação com as sondas;
 - saídas de acionamento dos atuadores;
 - botões para entrada de dados, para a Interface Homem Máquina (IHM);
 - um *display* para a IHM;
 - um conversor de tensão: para alimentar o sistema, de entrada $220 V_{AC}/60$ Hz;
 - conectividade para transmitir os dados para o servidor na nuvem;
 - Bluetooth para conectar com dispositivos móveis;
 - servidor MQTT, usado receber os dados transmitidos pelo produto;
 - aplicativo Wi-Fi, para configurar Wi-Fi;
 - aplicativo para configurar os parâmetros da sonda quando a membrana é trocada.
- Restrições:
 - ter alto grau de proteção contra poeira e água;
 - o projeto não deve ultrapassar o orçamento de produção de R\$ 400,00;
 - o projeto do *hardware* deve ser executado paralelamente ao projeto de *software*.

2.4 O Produto

O sistema embarcado consiste em uma central de controle de oxigênio dissolvido para tanques de produção aquícola. A central fará o monitoramento dos tanques usando sondas de oxigênio dissolvido e, com base nos parâmetros estabelecidos previamente pelo usuário, irá acionar os aeradores.

Este sistema deverá permitir a entrada de mais de uma sonda, as quais transmitirão os valores de temperatura e oxigênio dissolvido da água para a central, IHM e, dependendo no nível de oxigenação recebido pela sonda, a central irá acionar os aeradores conforme ilustrado pela Figura 4.

Figura 4 – Simplificação das entradas e saídas do sistema.



O cenário de aplicação onde esse sistema atuará é formado pelos tanques de produção de peixe. Esses tanques localizam-se em ambientes abertos e apresentam postes de energia do seu lado para alimentar os aeradores. O sistema ficará exposto às intempéries climáticas, como ilustrado pela Figura 5.

Figura 5 – Cenário de aplicação.



3 PROJETO CONCEITUAL

No projeto conceitual, primeiramente foram determinadas as funções do produto, a matriz morfológica e o projeto arquitetural.

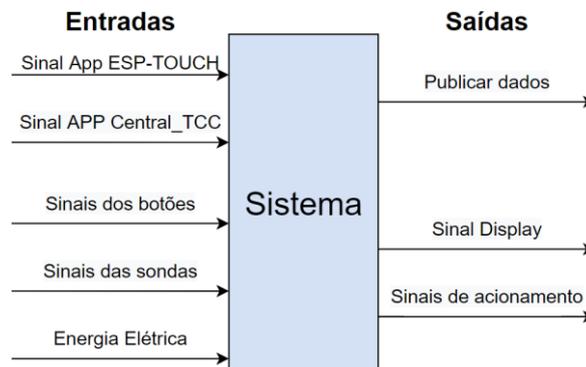
3.1 Funções do Produto

Nesta seção é apresentada a função global e as subfunções. A função global é dividida em partes, criando as subfunções, dessa maneira cada uma dessas partes poderá ser resolvida separadamente simplificando o processo de solução do problema.

3.1.1 Função Global

A função global de um sistema é o resumo da principal ação realizada. Neste caso, a função global é controlar oxigênio dissolvido e, para isso, é necessário receber os dados da sonda, os sinais vindos da interface do usuário e acionar os aeradores. Na Figura 6 é apresentado um resumo das entradas e saídas do sistema.

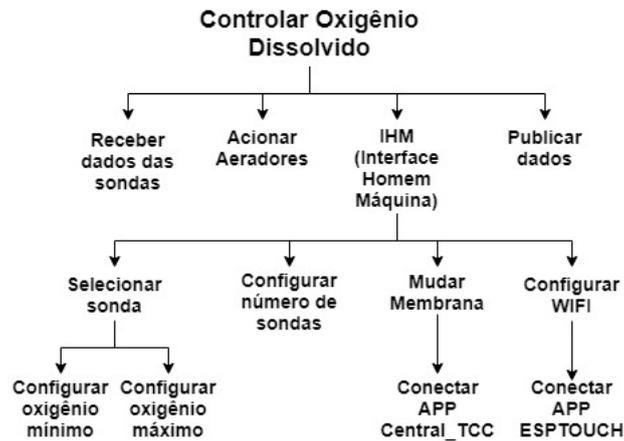
Figura 6 – Entradas e saídas do sistema.



3.1.2 Subfunções do Produto

Após ser estabelecida a função global do sistema, ela é dividida em subfunções com o intuito de facilitar a resolução do problema conforme a Figura 7. Para realizar o controle de oxigênio dissolvido, é necessário receber os dados fornecidos pela sonda, fazer o acionamento dos aeradores, publicar os dados na nuvem e permitir a configuração através da IHM.

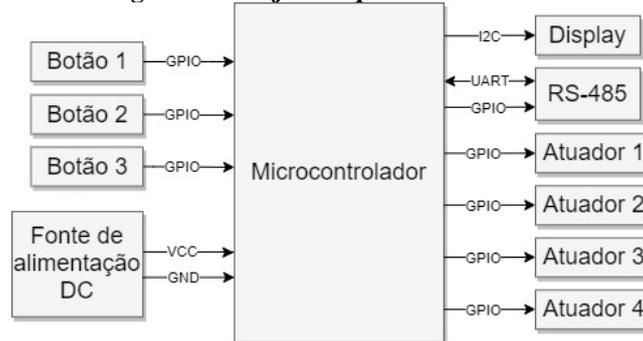
Figura 7 – Síntese de função do produto.



3.2 Projeto Arquitetural

O sistema deve enviar dados para a nuvem através de um *gateway* Wi-Fi e fazer a comunicação via Bluetooth com os aplicativos usados para a configuração. Para a interface homem-máquina, serão usados três botões (três pinos de entrada) e um *display* LCD 16x2 usando o protocolo de comunicação I²C. Para a comunicação com as sondas, será utilizado a comunicação RS-485 para leitura da temperatura e oxigênio dissolvido na água, utilizando a interface UART do microcontrolador. Serão necessários quatro pinos de saída para enviar o sinal de acionamento dos aeradores. A Figura 8 ilustra a arquitetura interna indicando as principais características necessárias para o funcionamento da central.

Figura 8 – Projeto arquitetural interno.



A Figura 9 ilustra o funcionamento completo do sistema. Há a central de controle de oxigênio dissolvido comunicando-se via Bluetooth com um *smartphone* e uma infraestrutura Wi-Fi que permite conexão com a Internet para publicação dos dados na nuvem.

Figura 9 – Representação o funcionamento completo do sistema.



4 PROJETO PRELIMINAR

No projeto preliminar é apresentado o painel do produto, a matriz morfológica, a escolha dos componentes e o projeto da interface do produto.

4.1 Painel do Produto

O painel semântico, também chamado *mood board* (em português significa “quadro de humor”), de uma forma abstrata reflete as emoções provocadas pelos produtos.

4.1.1 Painel do Estilo de Vida

O painel do estilo de vida tem como objetivo de refletir a rotina e estilo de vida do usuário do produto. Na Figura 10, é apresentado esse painel, inspirando o desenvolvimento de um produto simples e robusto. Desse modo optou-se pela utilização de apenas três botões e um *display* na interface física do produto.

Figura 10 – Painel de estilo de vida.



4.1.2 Painel das Expressões do Produto

Este painel tem o objetivo de definir uma expressão do produto que representa a emoção transmitida ao usuário. Na Figura 11, é apresentado o painel das expressões do produto, que são definidas como: conectividade, segurança, automação, confiabilidade e integração.

Figura 11 – Painel de expressões do produto (Extraído do Banco de imagens da Internet).



4.1.3 Painel do Tema Visual

A partir das expressões do produto definidas anteriormente (conectividade, segurança, automação, confiabilidade e integração), o painel de tema visual busca colocar produtos que passem com propriedade os conceitos das expressões definidas para o produto. Na Figura 12 é apresentado o painel do tema visual do produto, inspirando a desenvolver um produto com traços simples, mas que traga segurança ao usuário.

Figura 12 – Painel de expressões do produto (Extraído do Banco de imagens da Internet).



4.2 Matriz Morfológica

A metodologia utilizada para solucionar os problemas identificados e para gerar possíveis soluções foi por meio de pesquisas em campo e por pesquisas bibliográficas. Estas possíveis soluções e os problemas estão apresentados na Tabela 1, junto com a escolha das opções em negrito.

Tabela 1 – Matriz morfológica do produto.

	Opção 1	Opção 2	Opção 3
Acionamento	Triac	Relé	-
Conectividade	Wi-Fi	Cabo	Redes Móveis
Energia	Cabo	Bateria	-
Configuração	IHM	Serial	Interface Web
Histórico	Local	Nuvem	-

As duas principais opções a serem escolhidas para o acionamento dos aeradores são: relé e Triac. O Triac, sigla do termo em inglês *Triode for Alternating Current* é um dispositivo do tipo triodo bidirecional, possibilitando que ele controle a onda completa CA (Corrente Alternada). E o relé é um componente eletromecânico, ou seja, nele consta uma parte mecânica de contato e uma bobina, que através da corrente elétrica aciona a chave de contato. Desse modo, para o acionamento optou-se pelo Triac, pois o semicondutor apresenta um ciclo de vida maior em relação às partes mecânicas do relé.

No caso da conectividade, escolheu-se a comunicação sem fio para evitar cabos no ambiente de produção.

A alimentação do sistema escolhida é a cabo, porque, mesmo que a central possuísse bateria mantendo-a ligada, os aeradores e o roteador não irão funcionar sem energia tornando desnecessária a central manter-se ligada.

O histórico armazenado na nuvem permite que os dados obtidos sejam usados para rastreabilidade e aprimoramento da produção.

4.3 Seleção de Material

Após a definição das funcionalidades do produto, os painéis de produto e a matriz morfológica, são definidos quais especificações os componentes usados deverão possuir.

4.3.1 Tecnologia de Processador

Esse produto requer conexão à Internet para publicar os dados na nuvem. Ele também irá necessitar da interface Bluetooth para parametrizar as sondas por meio do aplicativo *mobile*. Além disso, o microprocessador utilizado precisará de pinos de saída para os atuadores, pinos de entrada para os botões, uma interface UART com controle de fluxo para enviar e receber dados para a sonda e interface I²C para a enviar dados ao *display* da IHM.

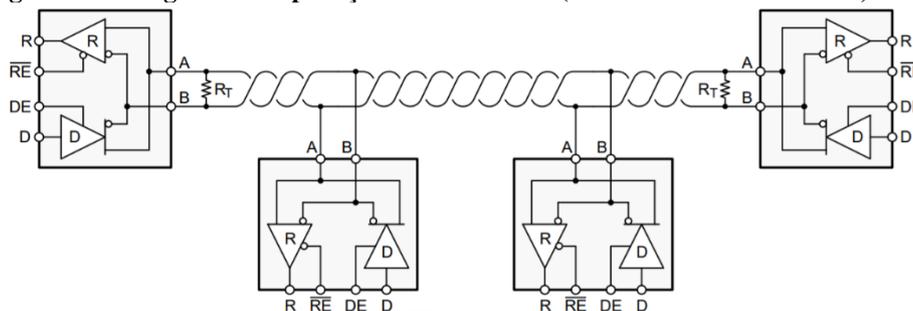
Na busca por um dispositivo que suprisse os requisitos apresentados no parágrafo anterior, chegou-se no módulo ESP32-WROM-32E, por US\$ 2,50 com as seguintes especificações (ESPRESSIF SYSTEMS, 2020a):

- ESP32-D0WD-V3 embarcado, Xtensa® dual-core;
- microprocessador 32 bits LX6, máximo de 240 MHz;
- 448 KB ROM para inicialização e funções básicas;
- 520 KB SRAM para dados e instruções;
- 16 KB SRAM em RTC;
- wireless padrão 802.11b/g/n
- conexão Wi-Fi 2,4 GHz (máximo de 150 Mbps);
- Bluetooth v4.2 BR/EDR e Bluetooth LE;
- Interfaces: cartão SD, UART, SPI, SDIO, I²C, LED;
- PWM, Motor PWM, I²S, IR, contador de pulso, GPIO, sensor capacitivo de toque, ADC, DAC;
- cristal oscilador de 40 MHz;
- antena embutida;
- 16 MB SPI Flash;
- tensão de operação: 3,0 – 3,6 V.

4.3.2 Periféricos Necessários

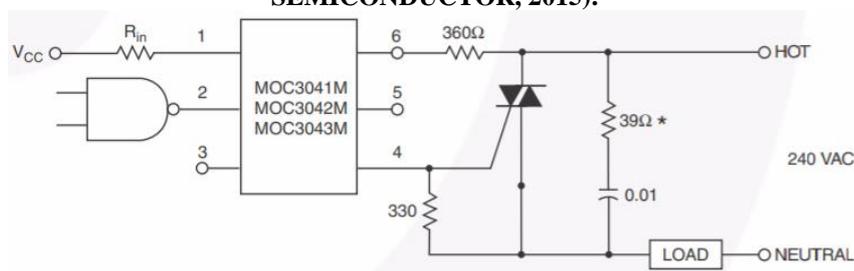
Na IHM do produto, serão usados três botões à prova d'água e um *display* I²C. Para a comunicação com as sondas, que usam o padrão RS-485, foram selecionados dois componentes: MAX3485, por US\$ 3,05, e o SN65HVD72DR, por US\$ 2,57. Ambos os *transceivers* são semelhantes e adequados ao projeto optando-se pelo SN65HVD72DR com menor custo. O diagrama de aplicação da comunicação RS-485 é ilustrado na Figura 13.

Figura 13 – Diagrama de aplicação SN65HVD72x (TEXAS INSTRUMENTS, 2019).



Para o acionamento dos aeradores, há duas opções optoacopladas de saída Triac: MOC3023M, por US\$ 0,41, e o MOC3043M, por US\$ 0,98. O componente escolhido foi o MOC3043M (Figura 14), pois ele possui, integrado ao sistema, um circuito de detecção de cruzamento de tensão de zero.

Figura 14 – Circuito de Chaveamento MOC303xM e MOC304xM (FAIRCHILD SEMICONDUCTOR, 2015).



4.3.3 Alimentação do Sistema

O sistema utiliza uma fonte externa de 220 V_{AC}/60 Hz para 12 V_{CC} para alimentar as sondas, o circuito Triac e o circuito do regulador LM7805 (TEXAS INSTRUMENTS, 2016), que alimenta o Módulo ESP32 e o *display*.

4.3.4 Sensor

O sensor de oxigênio dissolvido ainda se encontra em fase de testes e validação. Para a validação do *software* da sonda, desenvolveu-se um sistema microcontrolado que simula o comportamento da sonda através de um microcontrolador que adquire dados de temperatura e luminosidade (sensor óptico). Os dados são tratados e transmitidos por RS-485 conforme o protocolo de comunicação implementado pela sonda.

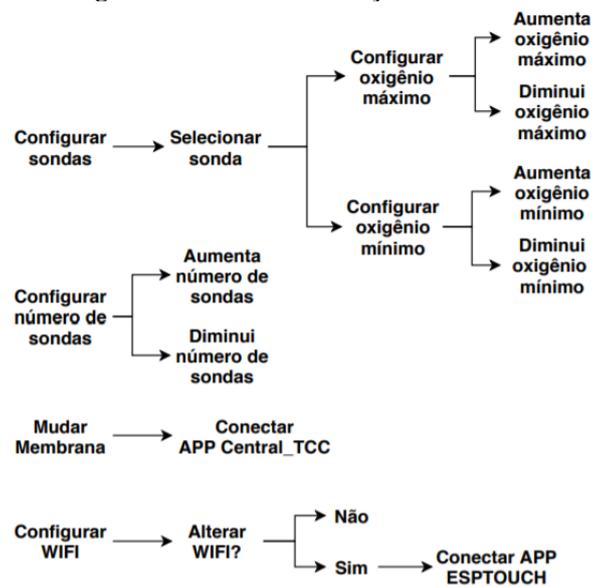
4.4 Projeto de Interface do Produto

O esboço do projeto ilustra a interação do usuário com o sistema. No caso deste projeto, será desenhada a interface física e a digital. Na interface humano-máquina, optou-se pela utilização de um LCD 16x2 e três botões. Para se obter uma interface simples e que possua todos os dados necessários para o controle adequado do sistema, foram estabelecidas as seguintes configurações:

- configuração das sondas;
- configuração do número de sondas;
- configuração membrana;
- configurar Wi-Fi.

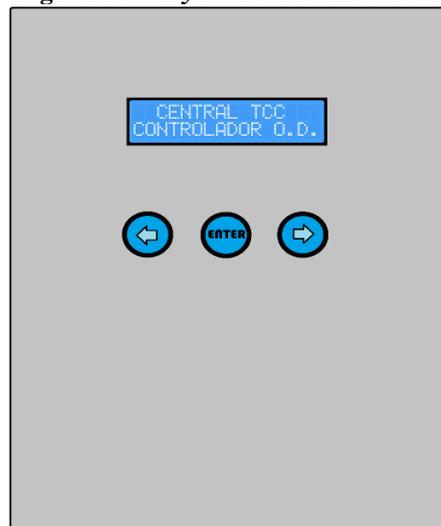
Assim, desenvolveu-se a árvore de funções do menu, apresentada na Figura 15.

Figura 15 – Árvore de funções do menu.



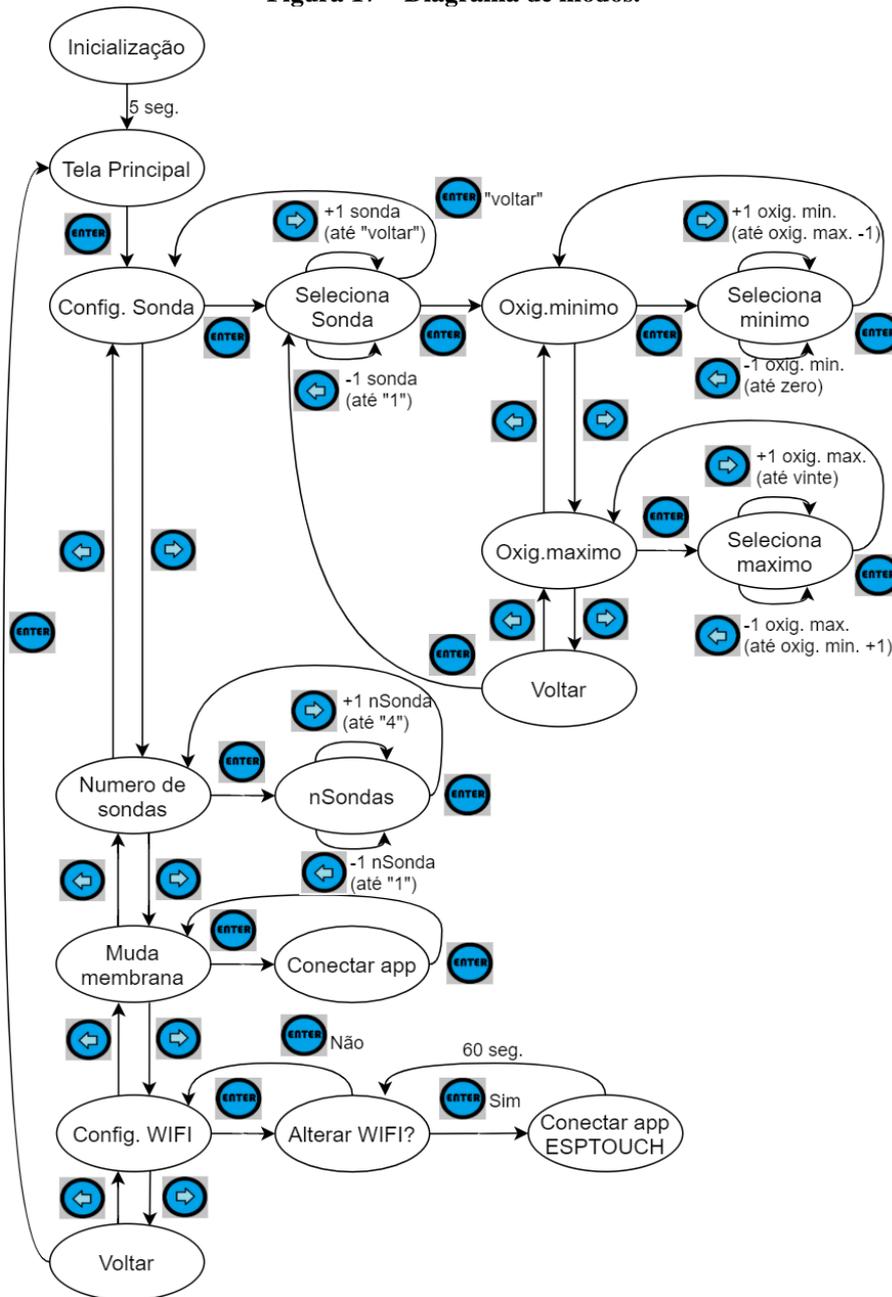
No *layout* da interface física, optou-se pela utilização de um LCD central na parte superior do produto, com suas funções e ajustes selecionados por meio dos botões, dispostos de forma simétrica, conforme pode ser observado no *layout* apresentado na Figura 16.

Figura 16 – *Layout* da interface física.



Definidos a árvore de funções do menu e o *leiaute* do produto, podem-se traçar as interações entre usuário e dispositivo através de um diagrama de modos conforme a Figura 17. Definem-se rotas e caminhos de retorno, maximizando a eficiência do projeto e reduzindo as transições de estados ilegais.

Figura 17 – Diagrama de modos.



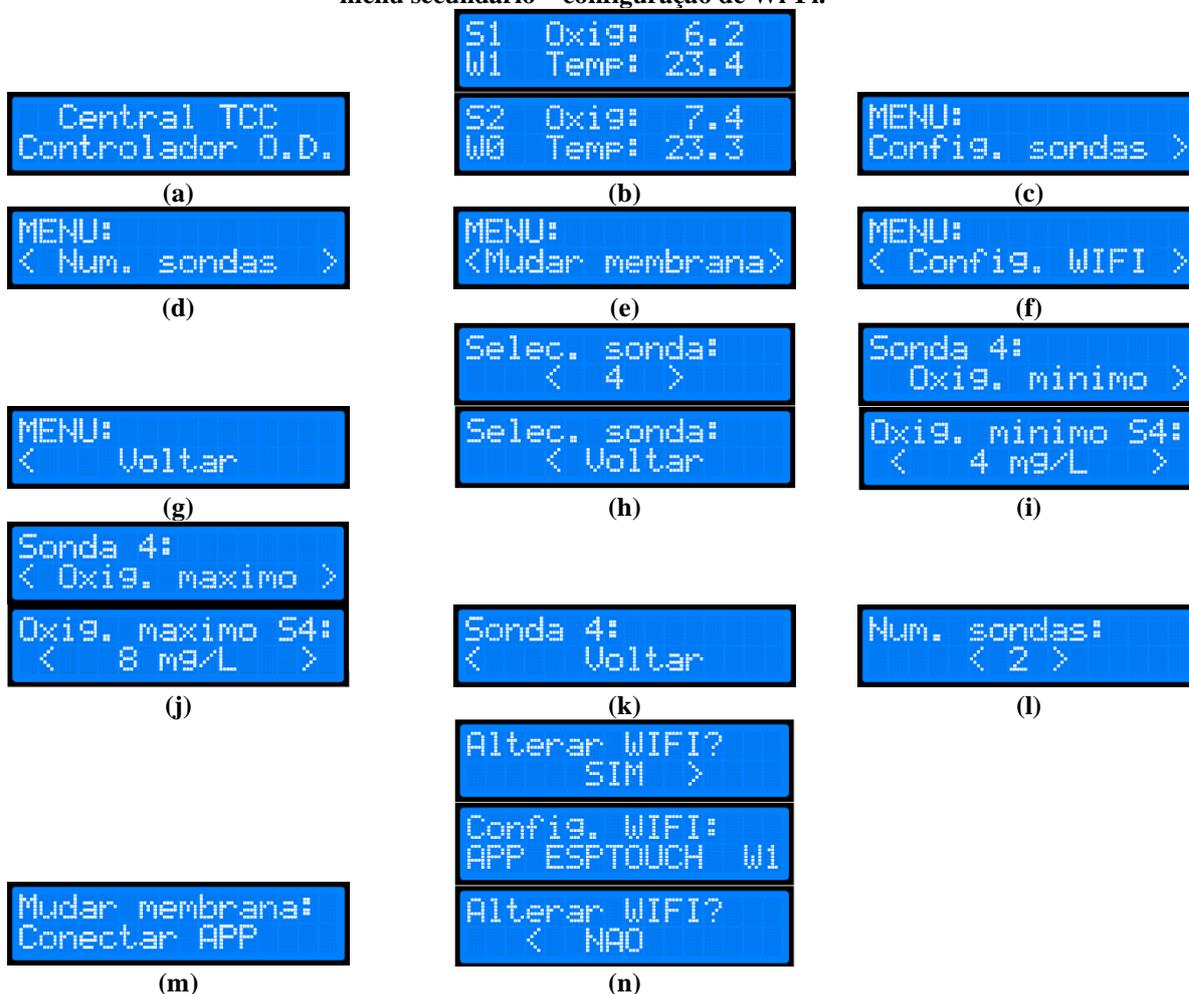
Com o diagrama de modos finalizado e definidas as possíveis interações permitidas entre usuário e dispositivo para a navegação entre as funções, cria-se um *storyboard* contendo todos os modos com que o dispositivo irá interagir visualmente com o usuário.

Para um melhor entendimento do uso da interface do produto, será apresentada cada uma das etapas:

- **Inicialização:** Essa etapa ocorre apenas quando o sistema é inicializado, apresentando por cinco segundos a tela apresentada na Figura 18(a).
- **Tela Principal:** Ao ligar o produto pela primeira vez, na configuração básica do produto, apenas a sonda 1 (S1) é cadastrada. Na Figura 18(b), apresentam-se configuradas as sondas 1 e 2, com intercalação das telas a cada cinco segundos. No topo esquerdo da tela temos a identificação, onde S1 é a sonda 1, S2 a sonda 2 e assim por diante, abaixo da identificação da sonda indica se o Wi-Fi está ou não conectado (W1 conectado e W0 desconectado). O oxigênio dissolvido é dado em miligramas por litro (mg/L) e a temperatura em graus celsius (°C).
- **Menu Principal:** Será dividido em telas.
 - Tela 1: a tela na Figura 18(c) apresenta a opção de menu de configuração de sondas.
 - Tela 2: a tela na Figura 18(d) apresenta a opção de menu de cadastro do número de sondas que serão usadas.

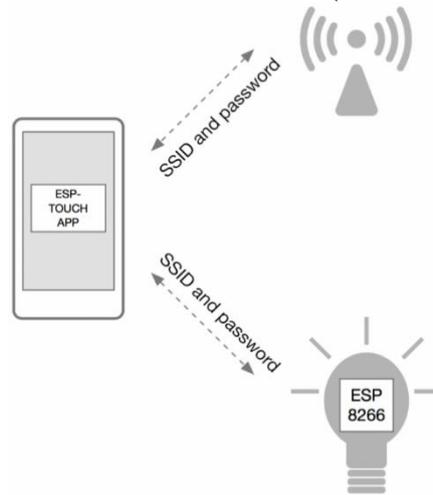
- Tela 3: a tela (Figura 18(e)) apresenta a opção de menu de troca de membrana.
- Tela 4: a tela (Figura 18(f)) apresenta a opção de menu de configuração de Wi-Fi.
- Tela 5: a tela (Figura 18(g)) apresenta a opção de menu de voltar à tela principal.
- **Menus Secundários:** Os menus secundários são as continuidades das telas do menu principal.
 - Configuração das sondas: primeiramente deve-se selecionar no menu principal a opção “Config. sondas” (Tela 1) e, em seguida, selecionar qual das sondas deseja-se configurar ou voltar ao menu principal (Figura 18(h)). Após se selecionar uma sonda, será aberto o menu de configuração da sonda escolhida, com as opções de escolher o limite mínimo (Figura 18(i)) e máximo (Figura 18(j)) de oxigênio dissolvido e voltar (Figura 18(k)) para a tela de seleção de sondas.
 - Número de sondas: primeiramente deve-se selecionar no menu principal a opção “Num. sondas” (Tela 2) e, em seguida, selecionar o número de sondas ligadas à central (Figura 18(l)).
 - Trocar membrana: primeiramente deve-se selecionar no menu principal a opção “Mudar membrana” (Tela 3), onde aparecerá uma mensagem indicando para se conectar ao aplicativo da central, chamado “Central_TCC” (Figura 18(m)).
 - Configuração de Wi-Fi: para configurar o Wi-Fi, deve-se selecionar no menu principal a opção “Config. WIFI” (Tela 4), onde aparecerá a pergunta “Alterar WIFI?”, se não se deseja alterar deve-se selecionar o “NAO”, caso o contrário “SIM”. Ao selecionar a opção “SIM” aparecerá na tela “APP ESPTOUCH” (Figura 18(n)) onde o usuário deverá usar o aplicativo ESP-TOUCH da Espressif para fazer a configuração do Wi-Fi, o usuário terá até sessenta segundos para fazer a alteração.

Figura 18 – Telas do sistema: (a) inicialização, (b) tela principal, (c) menu principal – tela 1, (d) menu principal – tela 2, (e) menu principal – tela 3, (f) menu principal – tela 4, (g) menu principal – tela 5, (h) menu secundário – seleção de sonda, (i) menu sonda – limite mínimo, (j) menu sonda – limite máximo, (k) menu sonda – voltar, (l) menu secundário – número de sondas, (m) menu secundário – troca de membrana e (n) menu secundário – configuração de Wi-Fi.



Para a configuração da rede Wi-Fi no dispositivo, será utilizado o aplicativo para smartphone “ESP-TOUCH”, da Espressif, disponível Android e IOS. O aplicativo permite a configuração da infraestrutura Wi-Fi enviando o usuário e senha através de pacotes ao ponto de acesso Wi-Fi (AP) e codifica o SSID e a senha no campo comprimento de uma sequência de pacotes UDP (Figura 19).

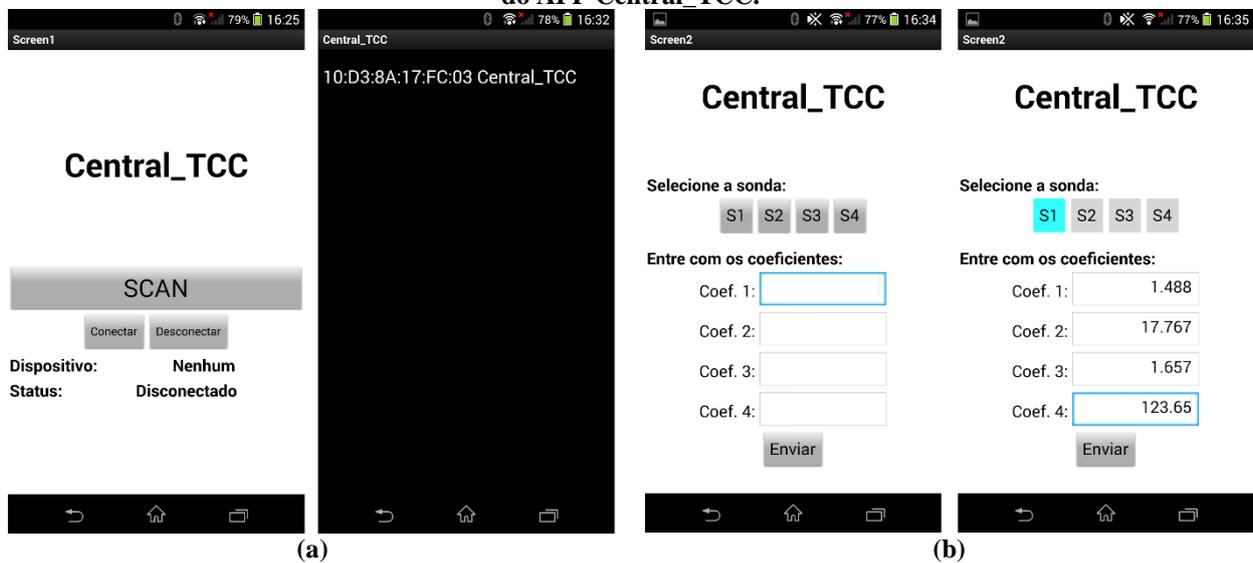
Figura 19 – Funcionamento do APP ESP-TOUCH (ESPRESSIF SYSTEMS, 2020b).



Para a configuração dos parâmetros do sensor de oxigênio, o aplicativo a ser usado será o “Central_TCC”, desenvolvido pela autora deste trabalho com o auxílio do site “<https://appinventor.mit.edu/>” e do aplicativo para Android “MIT AI2 Companion”.

Para conectar e configurar a central, primeiramente o usuário deverá conectar o dispositivo móvel com a central como demonstra a Figura 20(a). Após mapear a conexão Bluetooth deve-se apertar no botão “conectar”. A próxima tela do aplicativo permite configurar os parâmetros do sensor de oxigênio (Figura 20(b))

Figura 20 – Telas do aplicativo: (a) conexão do APP Central_TCC e (b) modo de uso do APP Central_TCC.

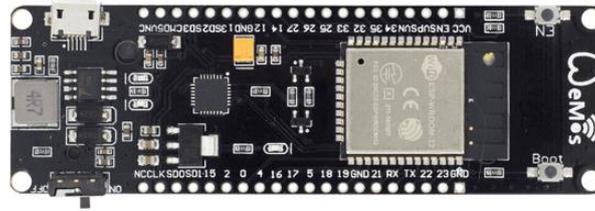


Utilizou-se sensores de oxigênio dissolvido ópticos e, para tais sensores, a membrana deve inspecionada e trocada caso exista acúmulo de impurezas. Os valores dos coeficientes de cálculo para a conversão de tensão para mg/L devem ser alterados conforme a especificação do fabricante da membrana.

5 DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

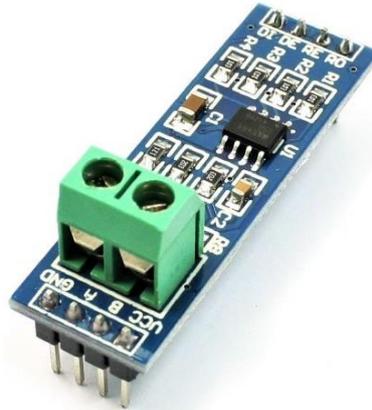
Para o desenvolvimento protótipo do produto, optou-se por utilizar módulos com o intuito de acelerar o processo de testes. Uma vez pré-definidos os periféricos do sistema, são definidos os módulos para a elaboração do *layout* do circuito da central. O primeiro módulo selecionado é o do ESP32 neste caso optou-se por utilizar o módulo WiFi ESP32 com suporte de bateria, apresentado na Figura 21.

Figura 21 – Módulo WiFi ESP32 com Suporte de Bateria.



O segundo módulo selecionado é o RS-485, contudo neste caso foi removido o componente MAX485 do módulo e soldado no lugar o MAX3485 que é equivalente ao SN65HVD72DR, apresentado na Figura 22.

Figura 22 – Módulo RS-485.



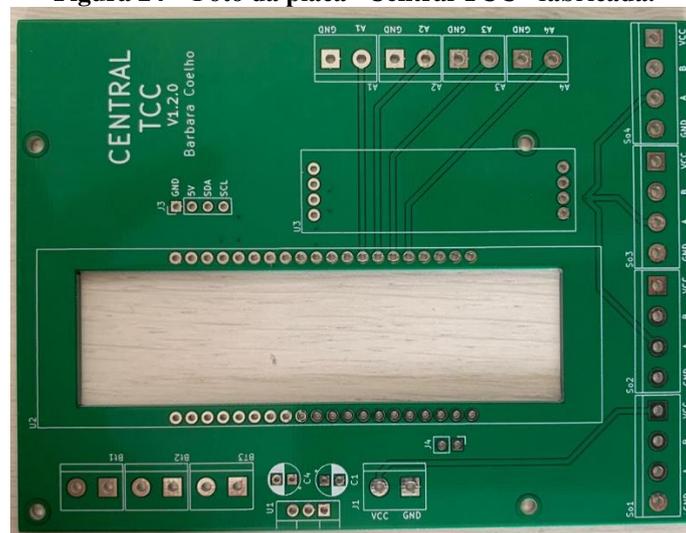
Para apresentação dos dados foi usado o *display* LCD 16x2 I²C, apresentado na Figura 23.

Figura 23 – Display LCD 16x2 I²C com backlight azul.



Após a definição dos módulos foi desenvolvido o esquemático e o *layout* do circuito. O circuito foi testado e em seguida, foram enviados os arquivos para a empresa JLC PCB para confeccionar a PCB do sistema (Figura 24).

Figura 24 – Foto da placa “Central TCC” fabricada.



Em paralelo com o desenvolvimento da PCB foi implementado o código para o microcontrolador usando o ESP-IDF, que é o ambiente de desenvolvimento de *software* para o *hardware* baseado no *chip* ESP32 da Espressif, e o Visual Studio Code, que é um editor de código-fonte desenvolvido pela Microsoft.

Após o recebimento das PCBs, foi soldada uma placa Central TCC para testar o sistema (Figura 25).

Figura 25 – Foto da placa “Central TCC” soldada.



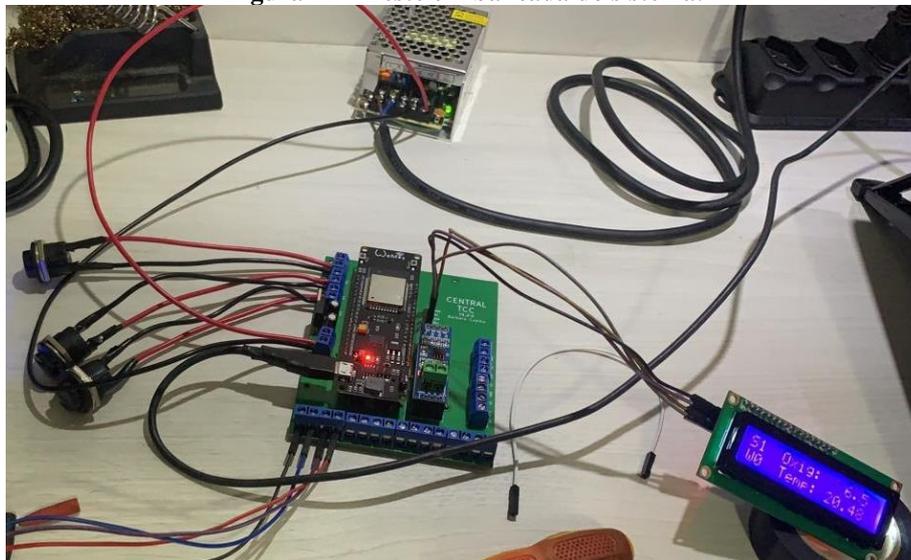
Para a alimentação do sistema foi selecionada uma mini fonte chaveada bivolt de 12 V_{CC}/5 A, de 60 W (Figura 26).

Figura 26 – Mini fonte chaveada bivolt de 12 V_{CC}.



A Figura 27 apresenta o teste do sistema, sendo alimentado pela fonte de 12 V_{CC}. Utilizou-se primeiramente botões *push-button* normais para os testes, porém, como o sistema ficará exposto às intempéries ambientais, os botões devem ser resistentes à penetração de corpos sólidos e líquidos. Com esse teste inicial do sistema, conseguiu-se validar o protocolo da comunicação e a IHM.

Figura 27 – Teste em bancada do sistema.



O próximo passo é colocar o sistema em um invólucro para os testes externos. Para isso foram escolhidos um invólucro que seja resistente a corpos sólidos e líquidos, um “prensa-cabo” para o cabo de alimentação, o cabo de alimentação, *plugue* macho de dois polos, um cabo para a comunicação RS-485 blindado com dois fios para a comunicação e dois para a alimentação do circuito, um conector de engate rápido para a sonda, um acrílico transparente de 1 mm de espessura para a vedação do *display*, e por fim os botões, conforme ilustrado pela Figura 28.

Figura 28 – Itens para testes externos.



Como o teste foi realizado com botões sem resistência a corpos sólidos e líquidos, optou-se por mantê-lo dentro da caixa. A Figura 29 apresenta o sistema montado e sendo testado em um ambiente externo.

Figura 29 – Teste em ambiente externo.



Os dados obtidos nos testes foram apresentados no *display* e enviados para a nuvem AWS, assinando o tópico “central/sondas”. Os dados foram enviados no formato “JSON” com a identificação da central, da sonda, o valor de oxigênio e temperatura obtido pela sonda possibilitando assim o acompanhamento remoto do sistema. A Figura 30 apresenta alguns dados recebidos pelo AWS IoT.

Figura 30 – Dados recebidos no tópico “central/sondas” pelo AWS IoT.

central/sondas	setembro 16, 2020, 17:44:11 (UTC-0300)
<pre>{ "IDc": 1, "IDs": 3, "temp": 19.67, "oxygen": 10.79 }</pre>	
central/sondas	setembro 16, 2020, 17:44:11 (UTC-0300)

A cada vinte minutos, os dados fornecidos pelo sistema são recebidos, armazenados e acessados usando pdAdmin, que é uma plataforma de desenvolvimento e administração de código aberto com recursos para PostgreSQL, um banco de dados de código aberto. A Figura 31 apresenta a tabela de uma central com três sondas.

Figura 31 – Tabela de dados obtidos no pgAdmin.

	id [PK] int	id_central bigint	id_sonda bigint	temperatura numeric	oxigenio numeric	criado_em timestamp without time zone
1	3620	1	2	23.8	8.81	2020-09-15 08:14:32
2	3619	1	3	21.27	10.92	2020-09-15 08:14:31
3	3618	1	1	23.21	10.31	2020-09-15 08:14:31
4	3617	1	3	21.32	11.03	2020-09-15 07:54:31
5	3616	1	2	23.85	8.8	2020-09-15 07:54:31
6	3615	1	1	23.21	10.45	2020-09-15 07:54:31
7	3614	1	3	21.36	10.99	2020-09-15 07:34:31
8	3613	1	2	23.89	8.9	2020-09-15 07:34:31
9	3612	1	1	23.27	10.36	2020-09-15 07:34:31
10	3611	1	3	21.45	11.0	2020-09-15 07:14:32
11	3610	1	2	23.91	8.48	2020-09-15 07:14:31
12	3609	1	1	23.29	10.57	2020-09-15 07:14:31

6 CONCLUSÃO

Esse trabalho descreveu algumas etapas para o desenvolvimento de um sistema embarcado comercial. Iniciou-se com a identificação de um problema apresentado pelos produtores de peixe. Em seguida realizou-se a definição de um produto, pesquisou-se o mercado, as especificações e restrições que devem ser consideradas para o desenvolvimento. Em seguida realizou-se um esboço que considera a interface com o usuário e a seleção dos componentes.

O produto desenvolvido provavelmente trará benefícios aos produtores de peixes, que obterão um melhor controle do oxigênio dissolvido dos seus tanques de produção aquícola, reduzindo os riscos de mortalidade dos peixes por falta de oxigênio e possivelmente um aumento da produção.

Para o desenvolvimento do trabalho foi utilizado o modelo PRODIP, que é uma metodologia ágil para gestão e planejamento de projetos. Desse modo, foi possível organizar o projeto do produto, conseguindo assim uma melhor produtividade. Ao final do projeto, conseguiu-se desenvolver um sistema embarcado que consiste em trazer para o setor de aquicultura um sistema automático de monitoramento e controle dos tanques de produção aquícola.

Para versões futuras da central de controle, pretende-se adicionar a opção de conectividades por redes móveis, usar bateria, substituir o módulo ESP32 utilizando diretamente os circuitos integrados do microcontrolador/periféricos, usar o aplicativo “Central_TCC” para configurar o Wi-Fi, no lugar do “ESPTOUCH”, e ampliar as opções de sensores, como o sensor de pH e de amônia, que também devem ser monitoradas.

Agradecimentos

A autora gostaria de agradecer aos professores do Curso de Especialização em Desenvolvimento de Produtos Eletrônicos, do Departamento Acadêmico de Eletrônica (DAELN) do IFSC *campus* Florianópolis e ao professor Renan Augusto Starke pela orientação do trabalho.

REFERÊNCIAS

ACQUA NATIVA MONITORAMENTO AMBIENTAL. **Monitoramento de oxigênio dissolvido e temperatura em aquicultura**. Disponível em: <<https://www.acquanativa.com.br/aplicacoes/monitoramento-viveiro-aquicultura.html>>. Acesso em: 14 de julho de 2020.

ATLAS SCIENTIFIC. **Lab grade dissolved oxygen probe**. Disponível em: <<https://atlas-scientific.com/probes/dissolved-oxygen-probe/>>. Acesso em: 14 jul. 2020.

BACK, N.; OGLIARI, A.; DIAS, A.; DA SILVA, J. C. **Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem.** Barueri, SP: Editora Manole, 2008.

CODDINGTON, D. T.; GREEN, B. W. *Tilapia yield improvement through maintenance of minimal oxygen concentrations in experimental grow-out ponds in Honduras.* Aquaculture, v. 118, n. 1-2, p. 63-71, dez. 1993.

ESPRESSIF SYSTEMS. *Datasheet: ESP32 series.* Rev. 3.4, abr. de 2020a.

ESPRESSIF SYSTEMS. *Espressif's ESP-TOUCH protocol implements the Smart Config technology to help users connect ESP8266EX-embedded devices to a Wi-Fi network through simple configuration on a smartphone.* Disponível em: <<https://www.espressif.com/en/products/software/esp-touch/overview>>. Acesso em: 17 de maio de 2020b.

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR. *Datasheet: MOC3031M, MOC3032M, MOC3033M, MOC3041M, MOC3042M, MOC3043M 6-pin DIP zero-cross Triac driver output optocoupler (250/400 volt peak).* Rev. 1.6, ago. 2015.

FIORUCCI, R. A.; FILHO, E. B. A. **Importância do oxigênio dissolvido em ecossistemas aquáticos.** Química Nova na Escola, n. 22, p. 10-16, nov. 2005.

INFOAGRO. **Produção animal.** 2018. Disponível em: <<http://www.infoagro.sc.gov.br/index.php/safra/producao-animal-2>>. Acesso em: 29 de maio de 2020.

KUBITZA, F. **Oxigênio dissolvido e sua importância para o desempenho e saúde dos peixes e camarões - parte I.** Panorama da Aquicultura, v. 27, n. 162, jul./ago. 2017.

PEIXE BR. **Exportações de peixes de cultivo aumentam 32,8% no 1º trimestre de 2020.** 11 de maio de 2020. Disponível em :<<https://www.peixebr.com.br/exportacoes-de-peixes-de-cultivo-aumentam-328-no-1o-trimestre-de-2020/>>. Acesso em: 29 de maio de 2020.

TEXAS INSTRUMENTS. *Datasheet: LM340, LM340A and LM7805 family wide Vin 1.5-A fixed voltage regulators.* Rev.1, set. de 2016.

TEXAS INSTRUMENTS. *SN65HVD7x 3.3-V supply RS-485 with IEC ESD protection.* Rev. mar. de 2019.