



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
Faculdade de Tecnologia

Thallyson Paulino da Silva Melo

**Desenvolvimento de um sistema de monitoramento online
para estudo da poluição por matéria orgânica**

Limeira
2021

Thallyson Paulino da Silva Melo

**Desenvolvimento de um sistema de monitoramento online para estudo da
poluição por matéria orgânica**

Dissertação apresentada à Faculdade de Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Tecnologia, na área de Sistemas de Informação e Comunicação.

Orientador: Prof. Dr. Luis Fernando de Avila
Coorientador: Prof. Dr. Renato Falcão Dantas

Este exemplar corresponde à versão final da Dissertação defendida por Thallyson Paulino da Silva Melo e orientada pelo Prof. Dr. Luis Fernando de Avila.

Limeira
2021

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Faculdade de Tecnologia
Felipe de Souza Bueno - CRB 8/8577

M491d Melo, Thallyson Paulino da Silva, 1993-
Desenvolvimento de um sistema de monitoramento online para estudo da poluição por matéria orgânica / Thallyson Paulino da Silva Melo. – Limeira, SP : [s.n.], 2021.

Orientador: Luis Fernando de Ávila.
Coorientador: Renato Falcão Dantas.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Tecnologia.

1. Internet das coisas. 2. Água - Poluição. I. Ávila, Luis Fernando de, 1980-. II. Dantas, Renato Falcão, 1978-. III. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Tecnologia. IV. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Development of an online monitoring system for study the pollution by organic matter

Palavras-chave em inglês:

Internet of things

Water pollution

Área de concentração: Sistemas de Informação e Comunicação

Titulação: Mestre em Tecnologia

Banca examinadora:

Luis Fernando de Ávila [Orientador]

Cassiana Maria Reganhan Coneglian

Jacson Weber de Menezes

Data de defesa: 29-04-2021

Programa de Pós-Graduação: Tecnologia

Identificação e informações acadêmicas do(a) aluno(a)

- ORCID do autor: <https://orcid.org/0000-0002-8262-4735>

- Currículo Lattes do autor: <http://lattes.cnpq.br/4474903996787636>

FOLHA DE APROVAÇÃO

Abaixo se apresentam os membros da comissão julgadora da sessão pública de defesa de dissertação para o Título de Mestre em Tecnologia na área de concentração de Sistemas de Informação e Comunicação, a que submeteu o aluno Thallyson Paulino da Silva Melo, em 29 de abril de 2021 na Faculdade de Tecnologia – FT/UNICAMP, em Limeira/SP.

Prof. Dr. Luís Fernando de Avila
Presidente da Comissão Julgadora

Profa. Dra. Cassiana Maria Reganhan Coneglian
FT/UNICAMP

Prof. Dr. Jacson Weber de Menezes
UNIPAMPA

Ata da defesa, assinada pelos membros da Comissão Examinadora, consta no SIGA/Sistema de Fluxo de Dissertação/Tese e na Secretaria de Pós Graduação da FT.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Resumo

A experiência em um mundo globalizado e o grande desenvolvimento tecnológico acabam trazendo diversas melhorias no que se refere ao controle ambiental. No entanto, com a aceleração da industrialização e o crescimento das cidades, vários processos acabam gerando descartes irregulares para a rápida resposta das demandas e passam a criar um ciclo de perdas irreparáveis para a natureza, desde a esfera da atmosfera e ambientes terrestres até os aquáticos. Na hidrosfera, esses efeitos influenciam o ativo mais importante para a sobrevivência humana: a água, e, processos como a poluição por matéria orgânica traz grande preocupação a uma projeção atual e futura, uma vez que lagos e reservatórios importantes para a vida aquática estão sendo afetados. O monitoramento da qualidade da água aparece neste contexto como um protagonista importante para determinar variações nos indicadores de qualidade. Tecnologias como a Internet das Coisas (IoT) permitem a evolução do monitoramento online, fornecendo informações em tempo real e com maior nível de detalhes para que posteriormente possam ser executadas ações de reparo aos ambientes que começam a se deteriorar. Neste trabalho, foram abordados os componentes de um sistema de monitoramento online constituídos por hardware, sensores e ferramentas de visualização de dados, com função conjunta de permitir o monitoramento online de indicadores de qualidade física e química. A partir de processos de validação da calibração dos sensores e medição de oxigênio dissolvido, temperatura, pH, sólidos totais dissolvidos e condutividade elétrica em laboratório e diretamente no corpo d'água, foi possível fornecer uma ferramenta relevante aos problemas atuais de controle da poluição por matéria orgânica e análise da qualidade da água.

Abstract

The experience in a globalized world and the great technological development brings several improvements to environmental control. However, with the acceleration of industrialization and the growth of cities, several processes generate irregular discards for the fast response of demands and start to create a cycle of irreparable losses to the nature, from the sphere of the atmosphere and terrestrial environments to the aquatic ones. In the hydrosphere, these effects influence the most important asset for human survival: the water, and processes such as pollution by organic matter are a concern to a current and future projection, since lakes and reservoirs important for aquatic life are being affected. The Monitoring of water quality appears in this context as an important player to measure variations in quality indicators. Technologies such as the Internet of Things (IoT) allow the evolution of online monitoring, providing information in real time and with a higher level of details so that later, repair actions can be carried out on environments that start to deteriorate. In this work, the components of an online monitoring system comprising hardware, sensors and data visualization tools were addressed, with the joint function of allowing online monitoring of physical and chemical quality indicators. With validation processes as calibration of the sensors and measurement of dissolved oxygen, temperature, pH, total dissolved solids and electrical conductivity in the laboratory and directly in the water body, it was possible to provide a relevant tool to the current problems of pollution control by organic matter and water quality analysis.

Lista de Figuras

2.1	Em (a) é mostrada a sonda e em (b) a visão em corte da composição interna da sonda e seus elementos	33
3.1	Diagrama de Desenvolvimento	35
3.2	Arquitetura Proposta para a aplicação	37
3.3	A placa microcontroladora DFRduino	40
3.4	O Shield GPRS	41
3.5	O sensor de oxigênio dissolvido e seus componentes	44
3.6	Os componentes do sensor de SDT e CE	45
3.7	A placa de condicionamento de sinais do sensor de pH	47
3.8	O sensor de temperatura	48
3.9	A placa fotovoltaica utilizada	49
3.10	A bateria selada e regulada por válvula	51
3.11	O controlador de carga	51
3.12	Sensor DHT	52
3.13	O sensor de tensão contínua	53
3.14	O desenvolvimento de aplicações em Internet das Coisas	55
3.15	Fluxograma da Aplicação	57
3.16	O funcionamento do módulo de apresentação em campo	59
4.1	Sensor de oxigênio dissolvido HexiS	61
4.2	A comparação dos resultados para medição de O.D em quatro amostras	62
4.3	Finalização da calibração e obtenção da constante de célula k	64
4.4	Condutivímetro Marte , sonda e sensor de temperatura	64
4.5	Comparação para as medições de SDT	65
4.6	Comparação para as medições de CE	66
4.7	pH em função da tensão	68
4.8	O pHmetro	69
4.9	Comparação entre as medições de pH do pHmetro e Sensor DM	70
4.10	Relação entre os conjuntos de dados enviados e o tempo de envio à plataforma online	74
4.11	Local da plataforma para visualização dos parâmetros relativos ao dispositivo cadastrado	75
4.12	Dashboard que apresenta em tempo real a variação no valor dos parâmetros	76
4.13	Protótipo internamente	79
4.14	Rio onde foi realizada a medição	80
4.15	Protótipo realizando medição	80
4.16	Arquitetura final da Aplicação	84
4.17	Proposta de Arquitetura para trabalhos futuros	85

Lista de Tabelas

3.1	Componentes de Hardware utilizados	38
3.2	Software Utilizado	38
3.3	Outros materiais utilizados	39
3.4	Os comandos AT utilizados para funcionamento da conexão GPRS	42
4.1	Resultados obtidos após o processo de calibração para o sensor de O.D	62
4.2	Resultados obtidos pra o sensor de SDT e CE	65
4.3	Relação entre pH e tensão para o sensor de pH DM	67
4.4	Resultados da comparação entre os sensores de pH	69
4.5	Relação de custo para os componentes utilizados no desenvolvimento do protótipo	72
4.6	Resultados da simulação com GPRS	73
4.7	Relação de valores para os dados obtidos na plataforma online	81

Sumário

1	Introdução	11
1.1	Estado da Arte	11
1.2	Motivação e Justificativas	14
1.3	Objetivos	16
1.3.1	Objetivo Geral	16
1.3.2	Objetivos Específicos	16
2	Revisão de Literatura	17
2.1	Trabalhos Relacionados	17
2.2	Parâmetros de qualidade de água	25
2.2.1	Indicadores de Qualidade Física	26
2.2.2	Indicadores de Qualidade Química	29
3	Metodologia	34
3.1	O módulo físico	39
3.2	O módulo de Aplicação	43
3.2.1	Sensor de Oxigênio Dissolvido DFRobot	43
3.2.2	Sensor de Sólidos Dissolvidos Totais e Condutividade Elétrica	45
3.2.3	Sensor de pH	46
3.2.4	Sensor de Temperatura DS18B20	47
3.3	Módulo de Aprovisionamento de Energia	48
3.3.1	Placa Fotovoltaica	49
3.3.2	Bateria	49
3.3.3	Controlador de Carga	51
3.3.4	Sensor de Temperatura DHT22	52
3.3.5	Sensor de Tensão	53
3.4	O módulo de apresentação	53
4	Resultados e Discussão	60
4.1	Calibração e Validação dos Sensores	60
4.1.1	Sensor de Oxigênio Dissolvido	61
4.1.2	Sensor de Sólidos Dissolvidos Totais e Condutividade Elétrica	63
4.1.3	Sensor de pH	67
4.2	Validação da Comunicação GPRS	72
4.3	Simulação no Ambiente	78
5	Conclusões	86
	Referências bibliográficas	88

Capítulo 1

Introdução

Neste capítulo serão apresentados o estado da arte para os conceitos de poluição hídrica e formas de monitoramento de parâmetros de qualidade hídrica, as motivações e justificativas para o trabalho, e os objetivos geral e específicos.

1.1 Estado da Arte

A vida humana tem passado por uma série de evoluções e constantes desenvolvimentos com o passar dos anos. De fato, é perceptível que esse desenvolvimento está influenciando o sistema terrestre, trazendo mudanças na maioria das vezes com impacto negativo, e mesmo que sejam notórias, essas mudanças continuam e aumentam sua taxa de ocorrência, transformando habitats, a química da atmosfera e da água, rompendo o equilíbrio de processos biogeoquímicos e a diversidade da vida no planeta (SMITH et al., 2009).

Em se tratando de componentes existentes na água que alteram o grau de pureza, podem ser relacionadas características físicas, químicas e biológicas que atuam como parâmetros de qualidade de água. As características físicas são referentes aos sólidos existentes na água, podendo de acordo com o seu tamanho ser em suspensão, dissolvidos ou coloidais. Entre os sólidos dissolvidos estão, por exemplo, os sais e a matéria orgânica (SPERLING, 2005).

As características químicas são aquelas que definem o tipo da matéria, orgânica ou inorgânica. As características biológicas são relativas aos organismos que habitam a água, vivos ou mortos. Os seres vivos são organismos que fazem parte dos reinos animal, vegetal e

protista (DERISIO, 2017).

Os processos metabólicos de microrganismos para estabilização e utilização da matéria orgânica através do consumo de oxigênio dissolvido estão diretamente relacionados à presença de matéria orgânica nos corpos d'água e esgotos (SPERLING, 2005). O desequilíbrio na quantidade de matéria orgânica e a relação com o consumo de oxigênio dissolvido é um dos principais problemas de poluição hídrica (SANT'ANNA JR, 2013).

A poluição das águas pode ser definida como a alteração da natureza do corpo d'água a partir da adição de substâncias, causando efeitos prejudiciais ao uso do corpo d'água (DERISIO, 2017). É possível relacionar alguns dos mais relevantes poluentes a partir dos seus principais parâmetros e os possíveis efeitos poluidores.

Os poluentes classificados como sólidos em suspensão, possuem como parâmetro principal os sólidos em suspensão totais, causando efeitos como problemas estéticos, absorção de poluentes e proteção de patógenos. (SPERLING, 2005).

A poluição por matéria orgânica biodegradável possui a demanda bioquímica de oxigênio como parâmetro principal, podendo causar efeitos no consumo de oxigênio e mortalidade de peixes. Os poluentes classificados como nutrientes, possuem como parâmetros principais o nitrogênio e o fósforo, e são relacionados ao crescimento excessivo de algas e toxicidade aos peixes (AMARAL et al., 2013).

De forma indireta, o consumo de oxigênio dissolvido é resultante da entrada de matéria orgânica em um corpo d'água, possuindo como efeito a redução nas concentrações de oxigênio dissolvido, que é um relevante problema de poluição ambiental (BUZELLI et al., 2013). A recuperação dos cursos d'água após despejos afluentes, potenciais causadores dessa redução, é relativa ao fenômeno conhecido como autodepuração, que permite a conversão de compostos orgânicos em compostos inertes, não prejudiciais, restabelecendo o equilíbrio do meio aquático (SALLA et al., 2013).

A autodepuração objetiva principalmente a construção de mecanismos para a utilização da capacidade de assimilação dos rios e o impedimento do lançamento de quantidades de despejos além do que o corpo d'água consegue assimilar. (SPERLING, 2005).

Além de mecanismos como a autodepuração, existem algumas formas de controle da poluição por matéria orgânica. Entre as principais formas de controle estão o tratamento de esgotos, os processos de regularização da vazão dos cursos d'água e mecanismos de aeração dos esgotos e cursos d'água (SPERLING, 2005). Em paralelo a essas formas de controle, existem medidas preventivas como o monitoramento dos parâmetros que estão relacionados à qualidade da água em rios, reservatórios e oceanos.

A partir destes parâmetros é possível identificar sintomas de poluição nos corpos d'água e, efetivamente, realizar o estudo de poluição por entrada de matéria orgânica. O monitoramento de parâmetros qualitativos ou quantitativos, objetivam o fornecimento de uma aproximação e uma possível estimativa da tendência e situação de um ambiente. Assim, o monitoramento é uma poderosa ferramenta para a pesquisa, podendo auxiliar na detecção de fontes de poluição e contaminação, verificando possíveis alterações na vida do ecossistema aquático (PULE et al., 2017).

Em se tratando das formas gerais de monitoramento, destacam-se três tipos: monitoramento tradicional, sensoriamento remoto e monitoramento online. O monitoramento tradicional é relativo à forma de coleta que utiliza equipamentos como barcos, discos de Secchi, dragas para realizar a coleta de sedimentos, garrafas de van Dorn, redes de plâncton, entre outros, que variam de acordo com a análise realizada.

O sensoriamento remoto pode ser definido como uma tecnologia que obtêm dados e imagens da superfície terrestre pela captação e posterior atribuição da energia que é emitida ou refletida por determinada superfície. A energia que é emitida ou refletida através da superfície da terra, ao utilizar sensores eletrônicos, pode ser captada e transformada em sinais elétricos que serão armazenados e, após, transmitidos à estações de recepção (GIARDINO et al., 2010).

Esta técnica possui uma grande gama de aplicações, como por exemplo, em lagos e reservatórios, obtendo sucesso em sua utilização em diversos países. Mesmo com a satisfatoriedade apresentada pela técnica, em se tratando do processo de poluição por entrada de matéria orgânica, pode haver o fornecimento completo dos parâmetros ambientais que indicam esse fenômeno. Porém, devido ao tempo de obtenção dos dados, uma análise da variação dos parâmetros pode se tornar menos eficiente que outras formas de monitoramento ao necessitar de uma atuação mais rápida (GHOLIZADEH et al., 2016).

O monitoramento online é uma tecnologia que atua expressivamente no controle da qualidade da água, apresentando um gerenciamento de forma integrada e preditiva de determinada bacia hidrográfica, permitindo uma gestão de reservatórios mais efetiva e viável.

Esse tipo de monitoramento, geralmente é feito a partir de uma estação, realizando a coleta de informações de parâmetros como oxigênio dissolvido, pH, temperatura da água, potencial redox, salinidade ou condutividade elétrica e concentrações diversas de cianobactérias, amônia, nitrato e cloretos. Esse tipo de sistema objetiva principalmente avaliar a qualidade e as variações dos indicadores durante o tempo, apresentando tomadas de decisão em relação à manutenção de padrões de qualidade definidos pela legislação (CLOETE et al., 2016).

O estudo do processo de poluição por entrada de matéria orgânica através do desenvolvimento de um sistema de monitoramento online representa além de uma evolução na forma de monitorar parâmetros de qualidade da água em rios, uma importante demanda para a sociedade. Neste trabalho serão abordadas as vantagens e desvantagens entre as formas de monitoramento, os principais elementos que constituem esses sistemas e os processos de validação destes elementos, apresentando uma ferramenta de relevante importância no contexto da poluição hídrica.

1.2 Motivação e Justificativas

O trabalho desenvolvido possui como justificativa principal, o desenvolvimento de uma aplicação que traga informações sobre variação de parâmetros de qualidade química e física da

água, servindo como forma de monitoramento para acompanhar processos de poluição por entrada de matéria orgânica. Isso é feito ao resultados que possam permitir análises de forma mais rápida e com possibilidade de digitalização dos dados obtidos.

Considerando que já existe uma grande quantidade de aplicações voltadas para esse meio, o trabalho possui como motivação, demonstrar que é possível desenvolver uma aplicação em laboratório, de baixo custo, apresentando dados dos principais indicadores de qualidade química e física da água de forma eficiente . Busca-se minimizar os efeitos e o tempo despendido pelo armazenamento e transporte de amostras para medições posteriores em laboratórios, que muitas vezes apresentam diversos procedimentos e exigências para garantir a qualidade da amostra ao chegar ao laboratório.

Essa minimização é feita a partir da medição das concentrações de indicadores diretamente no corpo d'água, enviando os valores obtidos no momento da medida, após certo tempo, para uma plataforma online. Assim como, no caso de manter o protótipo desenvolvido realizando a medição diretamente no ambiente, garantir que seja feito o monitoramento online ininterruptamente dos parâmetros ambientais, enviando os valores para a plataforma online e, acessando-a de qualquer lugar.

Na plataforma online, como principais vantagens, é possível verificar o valor das concentrações através da criação de dashboards (gráficos e tabelas dinâmicas que analisam a variação das concentrações e valores), relatórios com valores e horário de envio do dado e criação de gráficos para comparação.

É possível também enviar alertas via mensagem de texto (SMS) ou e-mail relativo a variações na concentração de indicadores que representem determinados padrões de poluição da água. Há também a possibilidade de realizar simulações e estudos de processos relativos à poluição hídrica, bem como, permitir que amostras que passaram pelo processo de coleta, sejam analisadas em laboratório e os dados relativos às suas medições sejam armazenados para posterior análise na mesma plataforma online, garantindo as mesmas vantagens citadas anteriormente.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

A partir de um sistema de monitoramento online, analisar indicadores químicos e físicos de qualidade de água em corpos d'água, exibindo os resultados em uma plataforma online.

1.3.2 Objetivos Específicos

- 1) Apresentar os módulos que constituem o sistema de monitoramento online.
- 2) Realizar testes necessários para garantir a integridade do funcionamento dos módulos constituintes ao sistema.
- 3) Realizar simulações em campo, provando o conceito do sistema.

Capítulo 2

Revisão de Literatura

A revisão de literatura busca entender através de diversas referências bibliográficas, os trabalhos realizados que buscaram objetivos comuns ao deste trabalho, como a realização do monitoramento de parâmetros de qualidade hídrica. Além disso, o capítulo apresentará em mais detalhes as formas de monitoramento e os indicadores de qualidade física e química da água com utilização mais frequente na medição em corpos d'água, visando o estudo da poluição por entrada de matéria orgânica.

2.1 Trabalhos Relacionados

Diversos trabalhos buscam a partir do monitoramento tradicional realizar medições de parâmetros de qualidade de água em corpos d'água. Essas medições objetivam desde a determinação de índices de qualidade, até acompanhamento para a determinação da concentração de metais e outros elementos relevantes.

Mesmo considerando que cada local possui suas características geológicas e naturais dos organismos que habitam os corpos d'água, é possível utilizar os resultados obtidos posteriormente para critérios de discussão ao obter valores de indicadores de qualidade de água através de determinadas formas de medição.

Em "Análise do monitoramento da qualidade da água de rios da bacia hidrográfica do rio goiana", o autor Araújo Júnior (2020) trabalharam na determinação do índice de estado trófico através da análise da qualidade da água da bacia hidrográfica do rio Goiana entre os anos de

2016 e 2018 utilizando sete estações de monitoramento. Considerando uma divisão entre os períodos chuvoso e seco, os resultados apresentaram valores de oxigênio dissolvido máximo de 8,3 mg/L e médio de 4,99 mg/L no período chuvoso. No período seco, foram identificados valores máximo de 8,7 mg/L e médio de 4,24 mg/L. Em se tratando dos valores de pH, para os períodos chuvosos foram obtidos valores máximo de 7,9 e médio de 7,47. No período seco, valor máximo de 8,4 e médio de 7,32.

No trabalho "Qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio formoso, bonito - MS", de Lelis et al. (2015), considerando quatro pontos de medição em determinados horários e diversos locais, foi feito o monitoramento da qualidade da água da bacia hidrográfica do rio formoso na cidade de Bonito, em Mato Grosso do Sul. Entre os diversos locais medidos como o Parque Ecológico Rio Formoso, foram obtidos resultados para os indicadores de qualidade de água. Para o oxigênio dissolvido, foi medido um valor mínimo de 6,94 mg/L e máximo de 8,7 mg/L. Para pH, foi medido o valor constante 8,08.

Em "Degradação ambiental e qualidade da água em nascentes de rios urbanos", a pesquisa dos autores Garcia et al. (2018) objetivou a análise do índice de Qualidade de Águas (IQA) através de imagens de satélite, carta topográfica e visitas de campo na bacia hidrográfica do Ribeirão das Pedras, em Campinas, estado de São Paulo. Considerando a utilização de 12 pontos de medição, foi determinado o nível de impacto ambiental de seis nascentes a partir de entre outros parâmetros, indicadores de qualidade de água como oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio e condutividade elétrica. Entre os valores de condutividade elétrica, pode ser medido um valor médio de 118,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$ com um desvio padrão de 37,6. Para sólidos dissolvidos totais, um valor médio de 206,6 ppm, com valor mínimo de 20 ppm e máximo de 760 ppm, com desvio padrão de 213,74.

O autor Tomazin (2015) em "Influência sazonal no transporte específico de metais totais e dissolvidos nas águas fluviais da Bacia do Alto Sorocaba (SP)", realizaram a avaliação da variação sazonal existente no transporte de metais totais e dissolvidos na Bacia do Alto Sorocada, no estado de São Paulo. Parâmetros como sólidos dissolvidos totais, condutividade elétrica e Ph foram analisados a partir de 8 pontos, considerando períodos de chuva e seco. Para os sólidos dissolvidos totais, foram obtidos valores entre 15 ppm e 130 ppm para os

períodos secos. Para os períodos chuvosos, a concentração de SDT ficou entre 80 e 360 ppm. Para a condutividade elétrica, no período seco, valores entre 50 $\mu\text{S/cm}$ e 400 $\mu\text{S/cm}$ foram observados e no período chuvoso, entre 30 $\mu\text{S/cm}$ e 190 $\mu\text{S/cm}$.

Em "Eficiência de estação de tratamento de esgoto doméstico visando reuso agrícola", Souza et al. (2015) abordaram o tratamento e reutilização de efluentes a partir de uma estação de tratamento de esgoto para redução do teor de matéria orgânica. O efluente final possui composição relevante para a agricultura como nitrogênio, fósforo, cálcio, entre outros. O monitoramento de parâmetros ambientais durante a caracterização do efluente bruto, até a saída da estação de tratamento com o efluente tratado, é fundamental para a manutenção da qualidade da água a ser utilizada. Em termos de valores dos parâmetros utilizados, entre diversos analisados, o pH possuiu um valor médio de 7,4 para o esgoto bruto.

E em "Manganês, zinco, cádmio, chumbo, mercúrio e cromo no chorume de aterro sanitário em Dourados, MS, Brasil", Rigueti et al. (2015) apresentaram um estudo realizado para analisar as concentrações de metais pesados como zinco, chumbo, mercúrio, entre outros. A partir de amostras de dois reservatórios, com tratamentos anaeróbio e aeróbio e quatro coletas entre 2012 e 2013 em períodos de seca e chuva. Foi utilizada a espectrometria de absorção atômica para a determinação das concentrações, observando as variações de parâmetros como pH e condutividade elétrica. Os valores de pH medidos possuíram variação entre 8,07 e 8,47.

Em termos de tecnologias para medição, existem diversos trabalhos que buscam aprimorar a forma de medir os diversos indicadores de qualidade de água. O desenvolvimento de sensores e técnicas de medições fazem parte da evolução do conceito de monitoramento desses parâmetros.

Essa evolução é relacionada diretamente com a possibilidade de realizar o monitoramento em tempo real dos indicadores de qualidade de água para monitorar fenômenos como a poluição por entrada de matéria orgânica. Os resultados obtidos por esses sistemas de monitoramento em tempo real são essenciais para estudar as possíveis melhorias e a adequação

necessária para a constituição de outros sistemas que possuam objetivos similares.

Em “A Distributed Wireless Sensor Network for Online Water Quality Monitoring”, Shen et al. (2015) desenvolveram uma rede de sensores sem fio (RSSF) para monitoramento da qualidade da água. São utilizados como diferenciais uma interface web de usuário e uma interface de interação humano-computador em um sistema com componentes de baixa potência e alta conectividade. O objetivo principal do trabalho é monitorar em tempo real via internet parâmetros como temperatura, pressão e pH. É utilizado o microcontrolador Arduino como hardware e o chip CC2430 SOC da Texas Instruments como módulo de transmissão de dados, este, com comunicação ZigBee através do protocolo IEEE 802.15.4. Os sensores utilizados são módulos adaptados para o microcontrolador Arduino e como resultado final é apresentada uma página web desenvolvida pelos autores que apresenta uma tabela dos dados enviados pelos sensores.

Em “Research on Small Mobile Water Quality Online Monitoring Device”, Deng et al. (2013) publicaram uma pesquisa que objetiva o monitoramento da qualidade da água. O sistema consiste no uso de sensores comerciais da Global Water série 270-WQ, monitorando parâmetros como temperatura, oxigênio dissolvido, pH, condutividade e turbidez através da conversão analógico/digital do sinal pelo uso de um módulo A/D e integração com um microprocessador MSP430F2013 por comunicação Inter Integrated Circuit (I2C). É utilizado o microcontrolador AM3359 com processador Cortex-A8, obtendo ainda informações das coordenadas do local por Global Positioning System (GPS), conexão de transmissão de dados 3G e um módulo de obtenção de imagens que a partir de processamento digital de imagens por transformadas discretas de cossenos (DCT), obtém através da cor os poluentes no local. Em se tratando de exibição dos dados, é proposto no trabalho o desenvolvimento de uma interface através do ambiente Linux, integrando os resultados dos módulos que integram o sistema.

Em “Design of Online Data Measurement and Automatic Sampling System for Continuous Water Quality Monitoring”, de Wiranto et al. (2015), é apresentado um sistema de monitoramento da qualidade da água que realiza medições de oxigênio dissolvido e pH em oito tubos. O sistema utiliza como microcontrolador o PCDuino, isto é, uma adaptação da placa microcontroladora Arduino de acordo com a aplicação a ser desenvolvida. A transmissão

de dados é feita através de um módulo Xbee, trabalhando com limiares para emitir possíveis alertas e exibindo os valores a partir de programas preparados para recepção dos dados, permitindo o uso posterior destes dados para construção de gráficos.

No trabalho “Portable and Online Water Quality Monitoring System using Wireless Sensor Network”, Salim et al. (2017) desenvolveram o um sistema para monitoramento de água online. Foram realizadas medições de temperatura, pH, oxigênio dissolvido, turbidez, condutividade e sólidos dissolvidos totais. O sistema faz uso da placa microcontroladora NodeMCU, que acaba restringindo a quantidade de entradas analógicas, fazendo com que os sensores sejam divididos em nós. É utilizada a Raspberry Pi 3 para permitir a utilização de um teclado, comunicação sem fio e uma bateria de 3,7V para alimentação do sistema. Os resultados são obtidos através de páginas web a cada cinco segundos. Nas páginas web foram criados ícones que representam a variação dos valores adquiridos pelos sensores, além da criação de gráficos dos valores atuais e busca pelos valores anteriores.

Em “APLICAÇÃO DE MICROSENSORES NO MONITORAMENTO DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO, POTENCIAL REDOX E TEMPERATURA EM ESTUDOS LIMNOLÓGICOS”, de Lamon (2014), foram desenvolvidos micro sensores eletroquímicos. Os amperométricos tinham como objetivo realizar a medição de oxigênio dissolvido e os potenciométricos a medição do potencial de oxi-redução e temperatura. Foram construídos também sistemas eletrônicos que possibilitaram a visualização e armazenamento dos dados provindos dos sensores de forma autônoma por meio de um notebook ou computador. A medição foi realizada a partir dos eletrodos desenvolvidos com base na tecnologia de biofilmes, propondo minimização de custos, realizando a coleta das amostras na foz de um reservatório, identificando possíveis alterações antrópicas e níveis de trofia para profundidade e fósforo total. Módulos GPS e General Packet Radio System (GPRS) foram utilizados para a transmissão dos dados e através da plataforma LabView foi desenvolvido um equipamento que possui uma tela onde os dados são monitorados em tempo real, oferecendo ainda opções gerais nas teclas do equipamento.

Percebe-se que diversos trabalhos já publicados trabalham com formas de monitoramento de parâmetros ambientais, seja esse monitoramento da forma tradicional, por sensoriamento

remoto ou online. Porém, a utilização do monitoramento online pode ser considerado um avanço tecnológico no campo da gestão de águas.

Isso ocorre devido a possibilidade de avaliar condições químicas e físicas que se relacionam com os impactos ofertados pelas atividades humanas aos recursos hídricos, como por exemplo, a poluição por entrada de matéria orgânica. Além do mais, esse tipo de monitoramento apresenta-se como uma ferramenta econômica em relação às formas convencionais de monitoramento, além de permitir uma vasta análise de parâmetros e quantidade de dados online.

A coleta de dados por um sistema de monitoramento online é feita geralmente utilizando sondas com sensores, fixando-as em plataformas diretamente no corpo d'água ou em margens próximas, realizando a transmissão dos dados em tempo real por tecnologias como rádio frequência (RF), telemetria por equipamentos satélite, Wireless (Wi-Fi), ZigBee, Bluetooth, redes celular móvel, entre outras.

O tipo de tecnologia utilizada depende das condições de conexão e disponibilidade de infraestrutura do local onde está localizado o reservatório ou lago. A forma de visualização dos dados obtidos varia de acordo com o desenvolvimento do sistema de monitoramento, geralmente sendo apresentado em páginas web ou softwares construídos para atuar com criação de gráficos, alertas e bancos de dados para armazenar dados de histórico de medições. A seguir, serão apresentadas as vantagens e desvantagens das formas de monitoramento tradicional, por sensoriamento remoto e online.

No monitoramento tradicional, existem vantagens como a possibilidade do menor desgaste dos equipamentos devido ao menor tempo de permanência no ambiente e a realização de manutenção em períodos de tempo mais longos. Outras vantagens para essa forma de monitoramento é a utilização de técnicas bem definidas e eficientes de coleta de dados e a possibilidade de obter resultados mais apurados nas medições. Entre as desvantagens, estão a quantidade reduzida de dados coletados, a ocorrência de condições ambientais desfavoráveis no momento das medições o maior período de tempo para obtenção dos dados e análises

aprofundadas.

Em se tratando de sensoriamento remoto, a aplicação em uma grande quantidade de áreas (geologia, engenharia florestal, oceanografia, entre outros) é de grande vantagem. Entre outras vantagens estão a possibilidade de realizar medições à distância, sem necessidade de deslocamento ao local de estudo e manutenção e a cobertura de grandes extensões territoriais integradas com sistemas computacionais. O sensoriamento remoto apresenta algumas desvantagens como a influência da acurácia dos resultados obtidos, devido a falta de contato direto com o ambiente de medição, e, a variação dos dados devido as condições meterológicas adversas.

O monitoramento online apresenta como vantagens o trabalho com grande volume de dados, a realização da manutenção dos padrões exigidos pela legislação através da criação de alertas (físicos, como alarmes, ou digitais, através de sistemas computacionais) e o acompanhamento dos parâmetros em tempo real por páginas web ou softwares, entendendo melhor o processo ambiental em estudo. Entre as desvantagens, estão o maior número de manutenções nos equipamentos e a necessidade de testes de calibração apurados com uma análise paralela que garanta a veracidade dos dados obtidos. Ainda como desvantagens, estão os problemas de segurança da informação dependendo do tipo de forma de visualização de dados utilizada e a possibilidade de instabilidade da tecnologia de transmissão de dados utilizada.

Em relação ainda aos trabalhos pesquisados e o que será apresentado nessa dissertação, existem diversos pontos de convergência . Entre eles estão a utilização de sistemas que utilizem placas microcontroladas (Arduino, Raspberry Pi, entre outras), sensores (que apresentam necessidade de conversão de níveis de tensão) ou módulos sensores (adaptados automaticamente para o uso com a placa microcontroladora), e formas de visualização de dados mais voltadas para páginas web e softwares desenvolvidos para este fim.

Considerando que a revisão bibliográfica apresenta os pontos de convergência necessários para entender quais componentes irão constituir o sistema, a seguir, é possível relacionar as principais variáveis envolvidas no processo de desenvolvimento de aplicações de

monitoramento online.

A primeira variável é o hardware. O objetivo dos componentes de hardware é intermediar a conexão com os sensores e módulos diversos. Entre os principais tipos podem ser citados as placas microcontroladoras (Arduino, Raspberry Pi, Intel Galileo, Freescale FRDM), os microcontroladores (PIC) e os chips programáveis. O custo dos componentes de hardware variam de acordo com o tipo utilizado, considerando haver diferenças bruscas de valores entre os tipos.

A segunda variável é relativa aos sensores. Os sensores obtêm os dados através de amostras ou diretamente no ambiente. Podem ser desenvolvidos e utilizados em laboratórios e indústrias, como um componente individual, mas também, podem ser utilizados como módulos adaptados para placas microcontroladoras. O custo dos sensores varia de acordo com o tipo, podendo haver diferenças bruscas de valores entre os tipos.

A visualização dos resultados é a terceira variável. O objetivo dessa funcionalidade é fornecer ao usuário os dados em tempo real dos resultados da aplicação a partir de páginas web, softwares (LabView, Matlab, Excel, entre outros) ou plataformas online (Ubidots, TagoIO, Microsoft Azure, Dojot, Google Cloud, entre outras). Possui custo zero para páginas web com servidores locais e licenças gratuitas para pesquisa podem ser solicitadas para softwares e plataformas online.

A quarta variável é a comunicação de dados, que é definida pela tecnologia que permite o envio dos dados para armazenamento ou visualização em tempo real. Alguns exemplos de tecnologias de comunicação de dados são o Wireless (Wi-Fi), comunicação via satélite, rádio, redes celulares, comunicação Bluetooth, ZigBee, Ethernet, LoraWAN, SigFox, entre outras. O custo para o uso da tecnologia depende da infraestrutura (pode estar consolidada ou não) e do plano de dados.

O protocolos de dados é a quinta variável, e está relacionado a execução de funções referentes às comunicações de dados, como envio, reporte de erros, entre outros. São protocolos de dados, o Hypertext Transfer Protocol (HTTP), o Message Queuing Telemetry

Transport (MQTT), o Constrained Application Protocol (COAP), entre outros.

A sexta e última variável é o tempo de resposta. Essa variável identifica a eficiência dos resultados enviados para armazenamento ou visualização online, dependendo da tecnologia de comunicação e protocolos de dados utilizados, além de fatores determinantes de cada tecnologia.

No decorrer do trabalho, serão apresentados os tipos de variáveis utilizadas neste trabalho, justificando seu uso e realizando as comparações necessárias em relação ao custo, manutenção, quantidade de dados e posteriormente, as vantagens e desvantagens em relação ao apresentado pelos trabalhos relacionados.

2.2 Parâmetros de qualidade de água

A caracterização da água pode ser feita pelos parâmetros que atuam como indicadores de qualidade. Esses indicadores são de qualidade física, química e biológica, e associam-se a diversos processos que ocorrem na bacia de drenagem e no corpo hídrico (FUNASA, 2014). Os valores requeridos de qualidade estão definidos através das concentrações máximas permitidas.

O trabalho possui foco na medição de parâmetros de qualidade para água bruta e sua relação com a poluição por entrada de matéria orgânica. Esses valores devem estar de acordo com as resoluções CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005) e a CONAMA 430/2011 (BRASIL, 2011), que dispõem sobre a classificação dos corpos d'água e padrões de lançamentos de efluentes.

A qualidade da água tem relação direta com a destinação no seu uso, seja para geração hidrelétrica, uso industrial, abastecimento humano ou a manutenção da vida aquática. Dependendo do fim utilizado, a qualidade da água sofre variação, necessitando de indicadores específicos para cada tipo de uso, uma vez que em apenas um indicador, não há como

synthetizar todas as variáveis envolvidas no processo de qualidade de água.

São apresentados abaixo os principais indicadores de qualidade física e química, visto que estes serão abordados como variáveis no processo de desenvolvimento do sistema. Para alguns destes indicadores, serão feitas discussões sobre formas tradicionais de medição, em comparação com a tecnologia utilizada para obter seus valores em um sensor adaptado para placas microcontroladoras.

2.2.1 Indicadores de Qualidade Física

Entre os indicadores de qualidade física da água, serão abordados a temperatura, sólidos e condutividade elétrica.

A temperatura da água nos ambientes aquáticos do Brasil apresenta geralmente uma faixa entre 20 °C e 30 °C (FUNASA, 2014), podendo variar de acordo com a estação do ano e a região do país. Sendo expressa pela energia cinética das moléculas de determinado corpo e tendo o seu gradiente como o fenômeno que causa a transferência de calor em certo meio, a alteração da temperatura no ambiente aquático possui algumas causas e exerce influências ao meio (VERONES et al., 2010).

As causas são relativas às fontes naturais (energia solar) e fontes antropogênicas (águas de resfriamento de máquinas e despejos industriais). A influência da temperatura é relacionada à atividade metabólica dos organismos, a velocidade de reações químicas e solubilidade de substâncias. Em se tratando de águas para o consumo humano, temperaturas elevadas podem levar a rejeição do uso. Uma vez que são reduzidos os processos de controle ou propriedades químicas e físicas de materiais que não estejam relacionados à temperatura, sua medição é considerada essencial para diversos fenômenos (KAUSHAL et al., 2010).

A saturação de oxigênio dissolvido e as taxas de reações biológicas e químicas são influenciadas pela variação da temperatura (LAMON, 2014). O processo de medição da temperatura na água pode ser realizado através de termômetros, e dentre estes, há uma enorme

variação de tipos.

Os termômetros podem ser de dilatação de líquido (baseado na expansão volumétrica do líquido com a temperatura em um recipiente fechado) ou de dilatação de sólidos ou bimetálico (faz o uso de duas lâminas que possuem coeficientes de dilatação diferentes). Os termômetros de efeito Seebeck são constituídos por um termopar, um sensor feito de materiais condutores ou semicondutores, funcionando pela termoeletricidade (SILVA, s.d.).

Os termômetros de resistência são os sensores que variam a resistência elétrica de acordo com a temperatura, constituído por materiais condutores e semicondutores, ou termistores. Há também os termômetros de pressão de gás, que possui princípio de funcionamento relativo ao termômetro de dilatação de líquido, diferenciado-se pelo fato do volume ser constante e preenchido com um gás, uma vez que a variação da temperatura implica na variação da pressão (ANACLETO, 2007).

Outra forma de medição é pelos termômetros de radiação infravermelha e visível. Nesta categoria de sensores, não é necessário haver contato físico com o corpo emissor, evitando assim transferências de energia e obtendo-se a temperatura real, além do que, não é necessário esperar o equilíbrio térmico entre o termômetro e o corpo, bem como, suporta medições de temperaturas elevadas (ANACLETO, 2007). E, por fim, há também termômetros baseados em cristais líquidos e baseados em diodos.

"O Sólido é estado da matéria que é caracterizado pela sua rigidez, uma forma própria e pela existência de um equilíbrio com o líquido proveniente de sua fusão"(SABESP, 1999). Os dados dos sólidos são relevantes para acompanhar a eficiência nos sistemas de tratamento de águas. Para a água potável, a determinação dos sólidos resulta no controle da qualidade, uma vez que a grande quantidade de sólidos de quaisquer tipos contribuem de forma negativa para parâmetros como cor e turbidez. A classificação dos sólidos pode ser feita considerando os sólidos totais, fixos, voláteis, em suspensão, em suspensão fixos, em suspensão voláteis, dissolvidos e sedimentáveis (PIVELI, s.d.).

Os sólidos em suspensão são partículas passíveis de sofrerem retenção após o processo de filtração, possuindo diâmetro inferior a 10^{-3} m, permanecendo na solução após a filtração. Esse tipo de sólido entra na água de forma natural (organismos, detritos orgânicos ou processos erosivos) ou de forma antropogênica (despejos de esgoto e resíduos sólidos)(SABESP, 1999) . O valor desse parâmetro é relativo a influência do lançamento de esgotos e também os efeitos na qualidade de características avaliadas e percebidas pelos sentidos humanos, como a cor, luz, sabor, odor, textura, entre outras. Essas características são as chamadas organolépticas (FUNASA, 2014)

Os sólidos dissolvidos totais são calculados pela subtração da concentração de sólidos totais pela concentração de sólidos em suspensão totais. Em se tratando de padrões de qualidade de água, de acordo com a CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005) a concentração máxima de sólidos dissolvidos totais para águas doces de classe 1 ou classe 3 é de 500 mg/L ou 500 ppm. As classes 1 e 3 possuem entre outras destinações para uso da água, o abastecimento para consumo humano, considerando que a classe 1 esse abastecimento pode ser feito após tratamento simplificado, e para a classe 3, tratamento convencional ou avançado.

A capacidade de transmissão de corrente elétrica a partir da presença de substâncias dissolvidas, dissociadas em ânions e cátions, é a chamada condutividade elétrica (FUNASA, 2014). Uma vez que há uma grande concentração de íons na solução, maior será a possibilidade de uma ação eletrolítica, fazendo com que haja maior capacidade de condução de corrente elétrica. Em se tratando da relação entre concentração de sólidos totais dissolvidos e condutividade elétrica, é possível que a evolução das medições no corpo d'água pode apresentar valores proporcionais (RIBEIRO et al., 2016).

Alguns equipamentos comerciais realizam a medição de condutividade elétrica podem ser adaptados para realizar a medição da concentração de sólidos dissolvidos totais, uma vez que podem utilizam um fator de 0,5 para relacionar condutividade elétrica e sólidos dissolvidos, considerando também as características do sensor utilizado (RUSYDI, 2018). Após o processo de calibração, a constante de célula k é obtida.

A constante de célula é definida como o volume de solução entre os eletrodos de uma célula de condutividade, possuindo uma variação pela razão entre a distância entre os eletrodos e a área entre as lâminas dos eletrodos. O valor da constante de célula possui como unidade de medida cm^{-1} . O valor da condutividade elétrica é expressa em unidades de resistência (mho ou S) por unidade de comprimento (m ou cm). As águas naturais costumam apresentar teores de condutividade elétrica entre 10 a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e em ambientes que estão poluídos por esgotos industriais ou domésticos, estes valores chegam a 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (LAMON, 2014).

2.2.2 Indicadores de Qualidade Química

Entre os indicadores de qualidade química serão abordados pH e oxigênio dissolvido.

A representação da intensidade de condições ácidas ou alcalinas em um meio líquido, a partir do logaritmo negativo da concentração molar de íons hidrogênio (H^+) é chamada potencial hidrogeniônico, ou pH (QIN, 2015). O pH é calculado através de uma escala antilogaritmo, possuindo faixa entre 0 e 14. Valores menores do que 7 indicam condições ácidas e valores maiores do que 7 indicam condições alcalinas. O valor do pH pode definir a toxicidade de diversos elementos, contribuir para um grau menor ou maior de solubilidade de substâncias e possui influência na distribuição de formas ionizadas ou livres dos compostos químicos (FUNASA, 2014)

Assim como diversos indicadores, as alterações nos níveis de pH possuem origem natural (fotossíntese, dissolução de rochas) ou origem antropogênica (descartes industriais e domésticos) (SPERLING, 2005). Em se tratando das águas de abastecimento, valores maiores de pH podem aumentar a possibilidade de incrustações (depósitos que acabam se formando no interior de tubulações), e valores menores de pH contribuem para corrosividade e agressividade. A faixa de valores de pH para manutenção da vida aquática varia de acordo com as influências naturais dos locais (DERISIO, 2017).

De acordo com as resoluções CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005) e a CONAMA 430/2011 (BRASIL, 2011), geralmente a faixa é estipulada entre 6 e 9. Porém, em rios de cores intensas, devido a presença de ácidos húmicos advindos da decomposição da vegetação,

essa faixa é de 4 a 6, ou seja, sempre ácido. O processo de acidificação das águas pode ocorrer também por uma derivação da poluição atmosférica, que realiza o processo de complexação dos gases poluentes com o vapor d'água, resultando no predomínio de precipitações.

Existem também ambientes aquáticos que são naturalmente alcalinos, os quais o valor de pH pode ultrapassar o valor de 10. O pH, aliado com o oxigênio dissolvido, são dois dos principais indicadores envolvidos no processo de designação do índice de qualidade das águas para proteção da vida aquática e de comunidades aquáticas (LAMON, 2014).

Existem diversas formas de realizar a medição do pH. Entre elas, o uso do papel pH é uma forma de medição que apresenta alteração da cor do papel de acordo com a variação do pH. A utilização dessa forma de medição é válida quando são necessários apenas valores aproximados, pois possui limitações de precisão e em amostras que são turvas ou coloridas não permitem uma interpretação fácil (ALMEIDA, 2005).

O papel pH porém, é uma forma rápida, simples e barata de medir o pH, uma vez que a determinação do pH é feita pela comparação da cor obtida no papel com a cartela que é fornecida pelo fabricante. Outro método de medição do pH é o método colorimétrico. Neste método é feita a adição de um reagente a amostra, ocorrendo uma mudança de cor de acordo com uma faixa específica do corante em uso. O valor do pH é verificado de forma visual ou pelos equipamentos colorímetros (ALMEIDA, 2005).

O Método óptico é a forma de medição do pH que pode ser aplicada em casos de monitoramento contínuo do pH. São desenvolvidos ao mobilizar um contraste indicador na ponta de um guia de onda, que pode ser formado por fibras ópticas, constituindo um caminho da luz entre o instrumento de medição e o indicador. Entre as principais vantagens desse tipo de medição, estão o tamanho pequeno, imunidade à interferências elétricas, grau alto de flexibilidade, estabilidade térmica, pode ser descartável e possui baixo custo (ALMEIDA, 2005).

Em relação às limitações, os sensores de fibra óptica utilizados neste método apresentam sensibilidade à luz e proporcionalidade em relação à quantidade de reagentes utilizados. O

método potenciométrico realiza a medição do pH pela diferença de potencial entre os eletrodos que estão imersos na amostra. Essa medição parte do princípio da ação do íon hidrogênio por um eletrodo de medida e um eletrodo de referência. Uma vez que a força eletromotriz criada no sistema de eletrodo de vidro possui variação linear com o pH, é possível realizar uma interpolação e determinar o pH da amostra desconhecida, considerando a calibração feita com soluções-tampão de determinados valores de pH (ALMEIDA, 2005).

O oxigênio dissolvido é considerado o principal elemento do metabolismo de microrganismos aeróbios que vivem em águas naturais, sendo também necessário para os peixes e outros seres vivos, uma vez que em uma ambiente aquático, concentrações menores que 5 mg/L já podem ser consideradas mortais para a sobrevivência de diversos organismos (FUNASA, 2014).

Como indicador, o oxigênio dissolvido é um dos mais expressivos para questões de qualidade em um ambiente aquático. As variações que ocorrem nos teores de oxigênio dissolvido podem estar relacionadas a processos químicos, físicos e biológicos que acontecem nos corpos d'água. A vida aquática aeróbia para ser mantida, necessita de teores de oxigênio dissolvido entre 2 mg/L e 5mg/L, variando para cada organismo (FUNASA, 2014)

.

Para a sobrevivência de espécies de piscicultura, a concentração é de 5 mg/L para trutas e para grande parte dos peixes é de 4 mg/L, considerando que há peixes que toleram concentrações menores (FUNASA, 2014). Entre as formas de medição do oxigênio dissolvido, podemos considerar principalmente dois métodos (DUROVIC et al., 2018): método químico e método de clark, além de outras formas de medição.

Os métodos ópticos, são aqueles que fazem uso de substâncias que reagem ao entrar em contato com amostras, resultando em reações que podem ser medidas por sensores diversos, por exemplo sensores espectrofotométricos. Esse tipo de método também facilita o controle e registro de dados. Um exemplo de tecnologia óptica utilizada para a medição de oxigênio dissolvido é a LDO (Luminescent Dissolved Oxygen), que tem como principal objetivo eliminar as desvantagens relacionadas aos métodos de medição eletroquímicos. Essa tecnologia possui como princípio de funcionamento o fenômeno da luminescência, a

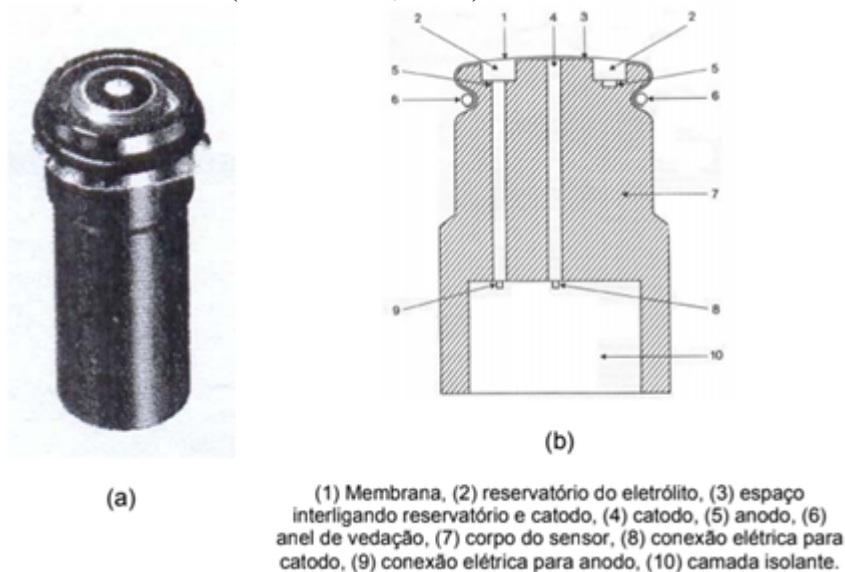
propriedade que alguns materiais possuem de emitir luz quando excitados por um estímulo que não seja o calor. Para a tecnologia LDO, o estímulo é a luz (HÄCK, 2017).

A medição é feita a partir do momento no qual a cápsula do sensor é encaixada no corpo do sensor e imergida em água, fazendo com que moléculas de oxigênio entrem em contato direto com o polímero fotoluminescente. A medição é efetuada com alta precisão pela emissão de uma luz azul pelo LED. Uma vez que as moléculas de oxigênio se encontram em contato com o polímero, ocorre a absorção da energia dos elétrons do nível de energia mais elevado pelas moléculas de oxigênio dissolvido, fazendo com que os elétrons voltem ao nível energético fundamental, sem emissão de luz. Quanto maior o valor da concentração de oxigênio, maior será a redução na intensidade da luz vermelha emitida (a luz vermelha é emitida quando os elétrons voltam ao nível fundamental) (HÄCK, 2017).

A intensidade máxima e o tempo de extinção da luz vermelha dependerão da concentração de oxigênio na amostra ou ambiente. É determinado assim, um tempo de extinção, definido como o tempo entre a excitação e o instante que a intensidade da luz vermelha volta a 1/e da intensidade máxima. Assim, o tempo de vida t da luz vermelha é utilizado para determinar a concentração de oxigênio dissolvido, fazendo com que o resultado seja baseado apenas numa medição de tempo física. Entre as principais vantagens dessa tecnologia estão a isenção da calibração, mudanças de membrana ou eletrodo, bem como, elevada precisão nas medições, rápido tempo de resposta e longa vida útil (HÄCK, 2017).

O método eletrométrico é o mais utilizado em medições de oxigênio dissolvido nos corpos d'água. Esse método apresenta como princípio de funcionamento, a passagem de um fluxo de oxigênio que atravessa uma membrana que é permeável ao gás, esta, alcança a superfície de um dos eletrodos que está polarizado negativamente em relação ao ânodo, uma vez que ambos os eletrodos estão imersos em um eletrólito. A corrente que é gerada pela redução do oxigênio no cátodo possui proporcionalidade à pressão absoluta do oxigênio que está fora da membrana (FERREIRA, 2017). Figura 2.1 é mostrado um sensor comercial e sua composição interna e externa.

Figura 2.1: Em (a) é mostrada a sonda e em (b) a visão em corte da composição interna da sonda e seus elementos. Fonte: (FERREIRA, 2017).



Há uma grande diversidade de sensores amperométricos e o desenvolvimento desta categoria de sensores é ampla, seja comercialmente ou por pesquisadores. Existem alguns desafios ligados à construção de sensores amperométricos, como por exemplo a construção de sensores que sejam insensíveis à agitação da solução e a micromanipulação, permitindo o posicionamento de componentes internos. A obtenção desse tipo de sensor é baseado em necessidades como baixa sensibilidade à agitação, vida útil elevada e baixa manutenção (LAMON, 2014).

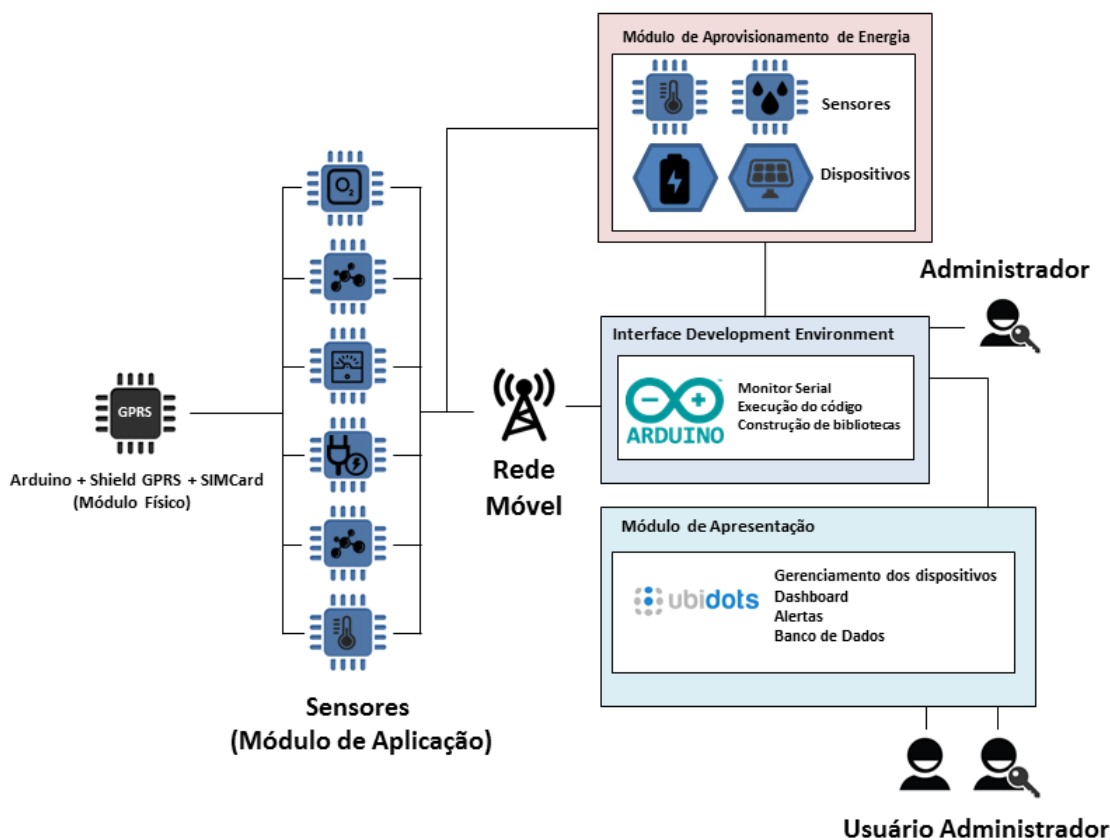
Essas necessidades estão relacionadas ao aumento no preço, fazendo com que a utilização de outros métodos ainda seja realizada, de acordo com a proposta exigida pela aplicação a ser desenvolvida ou monitorada

Capítulo 3

Metodologia

A Metodologia que envolve o desenvolvimento do trabalho é dividida em duas partes: a primeira delas, é relativa a apresentação dos módulos existentes no sistema de monitoramento e a segunda parte é à simulação do sistema desenvolvido. Na Figura 3.1 é apresentado um diagrama que apresenta os módulos que constituem o sistema.

Figura 3.1: Diagrama de Desenvolvimento. Fonte: Autor, 2021



O Módulo Físico possui como principais componentes a placa microcontroladora Arduino, o Shield de comunicação General Packet Radio Service (GPRS), responsável pela conexão dos dados com a rede de internet e o SIMCard, que provém a integração com o Shield GPRS em termos de plano de dados contratado com a operadora em uso. O Módulo de Aplicação possui os sensores utilizados na aplicação para mensurar os indicadores de qualidade física e química da água.

Esses sensores são conectados ao resultado do acoplamento entre a placa microcontroladora e a placa Shield GPRS. O Módulo de Aproveitamento de Energia é uma parte do sistema relativa à medições feitas em ambientes externos, onde pode não ser possível utilizar energia elétrica proveniente da rede elétrica comum. Esse Módulo conta com dispositivos como bateria, controlador de carga, placa solar e sensores de temperatura e

umidade para monitoramento do aquecimento no protótipo que envolve os componentes de hardware que ficam em conjunto.

Uma vez que há um código fonte (firmware) pronto para execução na Interface Development Environment (IDE), executado o código, é montado um pacote de dados que contém os valores dos parâmetros medidos pelos sensores dos módulos de aplicação e provisionamento de energia. Assim, é realizada a tentativa de conexão com a rede móvel (2G). Uma vez conectado, os dados são enviados para a plataforma online, componente do Módulo de apresentação.

Ao longo da metodologia serão discutidos e detalhados os módulos e seus respectivos componentes, os testes necessários para validação da aplicação e após obtenção dos resultados necessários, entender as adaptações e definir uma arquitetura funcional para a aplicação operar tanto em ambientes internos, quanto em ambientes externos.

A separação do sistema em módulos foi feita para permitir a adaptação da aplicação de uma forma mais flexível. A adaptação pode ser feita considerando que o módulo físico sempre será necessário e possuirá componentes de funcionalidade próxima, como a placa microcontroladora e a placa ou shield responsável pela comunicação de dados.

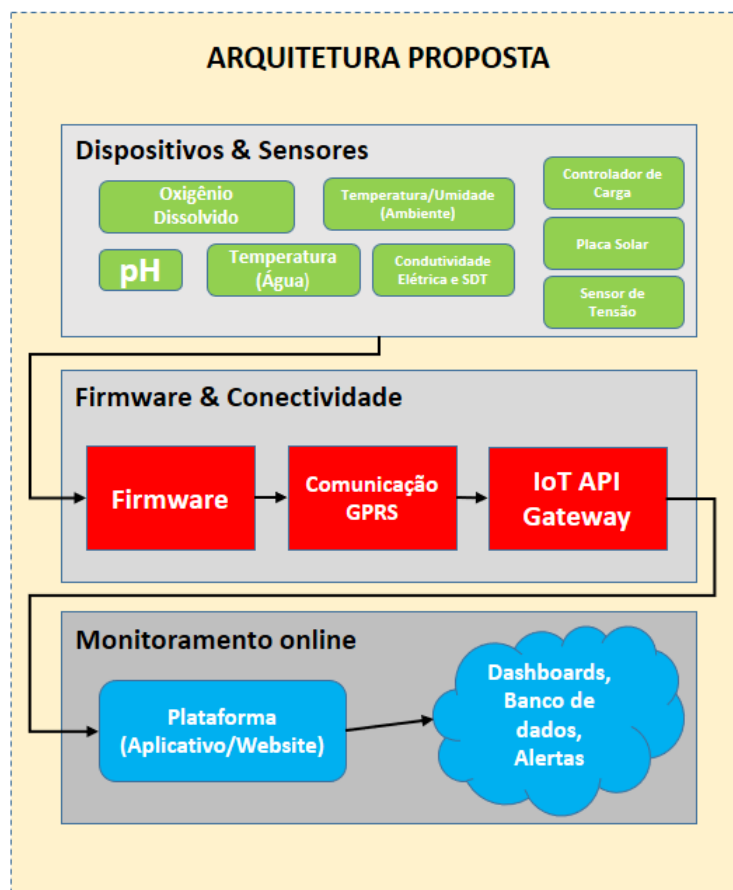
O módulo de aplicação é adaptado a partir do momento no qual são escolhidos os sensores necessários para suportar a motivação da aplicação, ou seja, indicadores de qualidade de água definem os sensores escolhidos nesse módulo. No caso de uma aplicação para monitoramento agrícola em estufas podem ser utilizados sensores de solo, umidade, chuva, entre outros.

O módulo de provisionamento de energia pode ser sempre mantido independente da aplicação, pois possui componentes básicos para garantir o controle dos níveis de tensão na bateria. O módulo de apresentação pode ser sempre adaptável de acordo com a plataforma utilizada e a forma como é feito o envio dos dados.

O diagrama de desenvolvimento apresenta os módulos que compõem o sistema e a arquitetura do sistema mostra de forma simplificada a proposta da aplicação, podendo ser

adaptada de acordo com os resultados obtidos nos testes. A Figura 3.2 expressa a Arquitetura Inicial da aplicação.

Figura 3.2: Arquitetura Proposta para a Aplicação. Fonte: Autor, 2021



Para a realização dos testes, é levado em consideração o funcionamento de maneira geral a partir dos dois ambientes, interno e externo. Existem três setores que se integram para garantir o correto funcionamento. Os dispositivos e sensores são integrados ao Firmware da aplicação no momento em que a conexão GPRS é estabelecida. Assim, é possível enviar os dados a partir do pacote de dados gerado para uma URL (Uniform Resource Locator), ou neste caso mais específico, o que é conhecido como "endpoint". Ou seja, é realizado o envio de dados utilizando o protocolo de dados definido para o local de rede na internet que está previamente preparado para receber dados e processar as requisições advindas de quem tentou realizar o acesso. Para a plataforma online de IoT, temos o chamado IoT API Gateway, que é um componente administrado pela plataforma que coordena as tentativas de acesso feitas para envio de dados.

Nas tabelas são apresentados os materiais utilizados durante todos os procedimentos de simulação, sejam estes voltados para calibração de sensores ou simulação efetiva em amostras ou no ambiente externo. Na Tabela 3.1, para os componentes de hardware foi utilizada a quantidade unitária de cada.

Tabela 3.1: Componentes de Hardware utilizados

Componente
Placa microcontroladora DFRduino
Shield Ethernet DFRobot
Shield GPRS EFCOM
Cartão SIM
Sensor de pH DIY More PH-4502C (DM)
Sensor de temperatura DS18B20
Sensor de Oxigênio Dissolvido DFRobot
Sensor de SDT/CE DFRobot
Sensor de temperatura e umidade DHT22
Sensor de tensão contínua
Placa Fotovoltaica
Controlador de Carga EPEVER
Bateria Selada 12V
Sensor de Oxigênio Dissolvido HexiS YSI 5100
Condutivímetro Marte MB-11
pHmetro Tec-3MP TECNAL

Tabela 3.2: Software Utilizado

Software	Objetivo
Interface de Desenvolvimento (IDE) Arduino	Intermediar o código fonte que fará a simulação funcionar.
LibreOffice Calc	Construção de gráficos
Matlab 7.0	Construção de gráficos

Tabela 3.3: Outros materiais utilizados

Material	Quantidade
Solução padrão de Condutividade 1412 $\mu\text{S/cm}$ (KCl)	50 ml
Solução de 0,5 mol/L de Hidróxido de Sódio	50 ml
Soluções de pH 4,7 e 10	50ml (cada)
Béquers 250ml	Diversos
Suporte portátil	Diversos
Resistores de 4,7 k e 10 k	Diversos
Cabos condutores	Diversos
Caixa Hermética	1
Protoboard 400 pontos	1

3.1 O módulo físico

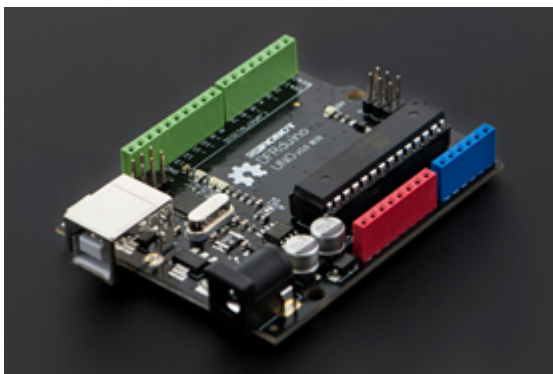
O módulo físico é a parte do sistema que abriga os principais componentes de hardware da aplicação. É utilizada a placa microcontroladora Arduino UNO R3 e um shield para comunicação de dados por GPRS (General Packet Radio Services). O shield GPRS é voltado para a comunicação de dados em um ambiente onde a forma de conexão mais acessível é aquela com uma infraestrutura consolidada.

A comunicação por cabo via Ethernet ou por rede sem-fio por Wireless em um ambiente afastado, como em áreas rurais, ou até em locais próximos de cidades em que existam lagos e represas é dificultada pela necessidade de um processo de autenticação mais diversificado. O shield GPRS comunica-se por rede móvel celular, fornecendo conectividade apenas através do cartão SIM e plano de dados, facilitando a forma de autenticação e permitindo o envio de dados por tecnologias que variam do 1G (First Generation) ao LTE (Long Term Evolution).

A placa microcontroladora DFRduino é o núcleo do módulo físico, uma vez que a partir dela é possível realizar as demais conexões com o shield GPRS e os sensores, permitindo que o sistema funcione de forma integrada. A placa possui preço na faixa de R\$ 70,00, com microcontrolador da família ATmega328p, pinos analógicos e digitais, bem como, memória flash de 2KB, operação do clock em 16MHz, Static Random Access Memory (SRAM) de 2KB

e Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory (EEPROM) de 1KB. Na Figura 3.3 é apresentada a placa DFRduino:

Figura 3.3: A placa microcontroladora DFRduino (DFROBOT, Acesso em 08 de Maio de 2018).



Em um ambiente outdoor, desprovido de conexões por cabo ou advindas de roteadores, uma opção de conexão com a internet é utilizando a rede móvel celular. Esse tipo de rede já possui infraestrutura consolidada e sua disponibilidade varia dependendo da operadora e do plano de dados que é atribuído a um cartão SIM. Entre os tipos de shields disponíveis no mercado para que placas microcontroladas tenham acesso à internet pela rede móvel, o tipo mais difundido são aqueles que fornecem conexão GPRS.

Existem shields que fornecem conexão LTE, a conexão mais avançada em termos de comunicações móveis, porém, atributos como custo e disponibilidade fazem com que a escolha de um shield GPRS seja mais acessível e mesmo se tratando de uma conexão com taxas de até 144 kbps, o envio de dados por sensores não requer uma taxa de dados alta.

A transmissão de dados por GPRS foi desenvolvida para suprir as necessidades do sistema de comunicações Global System for Mobile Communications (GSM). Em um sistema GSM, os canais de radiofrequência ocupam uma banda de 200 kHz, transmitindo sinais digitais com taxas de 270,833 kbps em uma estrutura de quadro que possui 8 intervalos de tempo, ou 8 slots. Os canais não são designados para determinadas tarefas e os canais de voz, lógicos, de sinalização de controle ou dados são mapeados nos slots, e quando estes slots realizam o transporte de dados, acabam ficando reservados (PIROTTI, 2009).

No GPRS os pacotes de dados são enviados por diversos slots de tempo, porém remindo a necessidade de reserva. A alocação dos slots é feita de acordo com a demanda de envio ou recebimento dos pacotes, fazendo com que haja um serviço de dados com uma conexão permanente (DILLENBURG, s.d.).

O GPRS possui como taxa de transporte de dados máxima entre 26 e 40 kbps, chegando na teoria a 171,2 kbps. A conexão de dados é independente de circuitos telefônicos, fazendo com que a cobrança seja por utilização e não pelo tempo de conexão, permitindo ainda um serviço sempre disponível. Em se tratando de infraestrutura, considerando uma infraestrutura GSM, a adaptação para a adoção de operadoras de GSM exige pequenas modificações.

O Shield GPRS é um dispositivo construído para trabalhar com placas microcontroladoras diversas, possuindo como principal componente o módulo wireless SIM900 Quad-Band GSM/GPRS. Esse dispositivo possui preço na faixa de R\$342,90 e realiza funções de conexão GSM ou GPRS por Quad-Band (850/900/1800/1900 MHz), como mensagens de texto via SMS, realiza ligações de voz, envio de dados pela internet e fax, considerando seu tamanho reduzido baixo consumo de energia. O dispositivo em questão possui atributos necessários para suprir a necessidade de conectar sensores e outros dispositivos eletrônicos em ambientes externos. Na Figura 3.4 é mostrado o Shield GPRS:

Figura 3.4: O Shield GPRS (FILIFELOP, Acesso em 08 de Maio de 2018).



O Shield GPRS deve ser acoplado à placa microcontroladora para permitir que as conexões sejam realizadas diretamente no Shield. O princípio de funcionamento do módulo SIM900 é a partir dos comandos AT. Existe uma infinidade de comandos AT para o Shields. Estes

comandos efetuam desde a designação da qualidade do sinal ao envio de pacotes, até realizar ligações e enviar mensagens de texto.

Como o objetivo principal da aplicação a ser desenvolvida no trabalho somente necessita do envio de dados, apenas alguns comandos AT serão levados em consideração. O Shield ainda possui um conector para que o uso de uma antena aprimore a qualidade do sinal, conectores para microfone e fone de ouvido para realização de ligações. Para que sejam efetuados os procedimentos relativos à conexão com a rede móvel de qualquer operadora, o Shield possui em sua parte inferior, uma adaptação para conexão de um cartão SIM.

Na Tabela 3.4 são apresentados os comandos AT utilizados para possibilitar o envio dos dados obtidos pelos sensores e integração com a plataforma online utilizada.

Tabela 3.4: Os comandos AT utilizados para funcionamento da conexão GPRS

Comando	Função
AT	Testa se está tudo correto para iniciar
AT+CSQ	Mostra a qualidade do sinal
AT+CPIN	Testa se o cartão SIM está devidamente encaixado
AT+CREG	Testa se o cartão SIM está registrado na rede celular
AT+CGATT	Começa ou finaliza uma conexão GPRS
AT+CSTT	Inicia uma conexão verificando APN, USERNAME e PASSWORD (dados padrões do cartão SIM)
AT+CIICR	Inicia a conexão sem fio
ATCIFSR	Indica o endereço IP local da rede
AT+CIPSHUT	Reinicia o IP da sessão iniciada
AT+CIPSTATUS	Checa o IP
AT+CIPMUX	Inicia uma conexão com múltiplos IP's
AT+CIPSTART	Inicia a conexão TCP
AT+CIDSEND	Faz uma requisição de envio de dados
AT+CIPCLOSE	Fecha a conexão TCP

Ao testar o código da aplicação final é possível verificar através do monitor serial da IDE Arduino as respostas obtidas para cada comando enviado. Muitas vezes alguns comandos são cruciais para o envio correto do dado à plataforma online, porém outros, podem ser suprimidos

para que o reinício da requisição e posterior envio do próximo dado seja feito da forma mais rápida possível.

3.2 O módulo de Aplicação

O módulo de aplicação possui o núcleo da aplicação desenvolvida no contexto do trabalho, isto é, realizar o monitoramento em tempo real de indicadores físicos e químicos. Para que essa aplicação seja desenvolvida, levam-se em consideração os dispositivos e sensores que deverão atuar para prover a devida aquisição dos dados, seja em amostras, ou ambientes.

Os componentes deste módulo possuem conexão direta com os componentes do módulo físico, uma vez que estes fornecem o controle geral dos sensores e dispositivos. São componentes do módulo de aplicação: sensores de oxigênio dissolvido, sólidos dissolvidos totais (SDT) /condutividade elétrica (CE), pH e temperatura.

3.2.1 Sensor de Oxigênio Dissolvido DFRobot

O sensor de oxigênio dissolvido utilizado neste projeto possui como principais componentes: uma sonda galvânica e uma placa de conversão de sinal. Ele também possui uma cápsula que deve ser preenchida com uma solução eletrolítica e conectada na sonda, conectores compatíveis com a saída PH2.0-3p da placa de conversão de sinal e arruelas metálicas e de plástico para posterior fixação em caixas herméticas. O sensor possui preço aproximado de R\$900,00, e tem faixa de detecção de oxigênio dissolvido entre 0 e 20 mg/L. A faixa de detecção do sensor de temperatura integrado é de 0 até 40 °C. O tempo de vida dos eletrodos é de até 1 ano. A manutenção da cápsula deve ser feita entre 1 e 5 meses e a manutenção da solução eletrolítica uma vez por mês. Na Figura 3.5 é verificado o kit completo do equipamento:

Figura 3.5: O sensor de oxigênio dissolvido e seus componentes (DFROBOT, Acesso em 08 de Maio de 2018).



A sonda galvânica possui como vantagem não precisar de tensão externa para funcionamento. Geralmente, esse tipo de sonda apresenta uma diferença de potencial (ddp) entre o cátodo e o ânodo superior a 0,5 volts (FORLABEXPRESS, Acesso em 01 de Abril de 2021). Sensores de oxigênio dissolvido com sonda galvânica possuem dois eletrodos, com ânodo de chumbo ou zinco e cátodo de prata, os dois imersos em uma solução eletrolítica. No caso do sensor utilizado, a solução utilizada é o hidróxido de sódio. Há uma membrana permeável que separa o ânodo e o cátodo da água em medição.

A concentração de oxigênio dissolvido é medida através da proporcionalidade com a corrente elétrica que é gerada pela difusão do oxigênio pela membrana e a interação com a parte interna da sonda. A sonda galvânica é isenta de tempo de aquecimento, possui maior estabilidade e exatidão para níveis baixos de oxigênio dissolvido. Porém, ocorre consumo de oxigênio durante a medição e necessita de procedimentos frequentes de calibração e manutenção, dependendo do tipo do fabricante utilizado.

O segundo componente do sensor é a placa de conversão de sinal. A principal função da placa é realizar a conversão da leitura feita pela sonda em um sinal analógico que é convertido na informação da concentração de oxigênio dissolvido ao conectar-se com a placa microcontroladora.

Para efetuar a medição de oxigênio dissolvido, inicialmente, deve ser feita a inserção de uma solução de 0,5 mol/L Hidróxido de Sódio (HCl) na cápsula que compõe o sensor. Para a calibração, deve ser utilizada água totalmente saturada em oxigênio dissolvido, e posteriormente são realizadas as medições necessárias com o sensor da HexiS e o sensor DFRobot.

3.2.2 Sensor de Sólidos Dissolvidos Totais e Condutividade Elétrica

O sensor de SDT e CE é constituído por dois componentes principais: uma placa de transmissão de sinal e uma sonda. A forma mais convencional de medição desse indicador é através de sensores, que realizam a medição não apenas da concentração de SDT, mas também da CE. Em relação à custo, é comum encontrar um sensor na forma de caneta por preços acessíveis, porém, esse tipo de produto geralmente não agrega a possibilidade de transmissão de dados para fins de monitoramento online em qualidade de água.

Mesmo com um preço relativamente acessível e grande acurácia, ainda é possível obter uma solução com um preço menor. O sensor utilizado neste trabalho é compatível com placas microcontroladoras e possui uma sonda que pode ser utilizada para medições durante um longo período de tempo. O sensor possui preço de aproximadamente R\$ 80,00, com faixa de detecção de 0 até 1000 ppm e acurácia de medição de $\pm 10\%$. Na Figura 3.6 são verificados os componentes do sensor:

Figura 3.6: Os componentes do sensor de SDT e CE (DFROBOT, Acesso em 08 de Maio de 2018).



A sonda utilizada para a medição é mais simples do que as geralmente utilizadas para medições de parâmetros como oxigênio dissolvido e pH. Ela é composta por um cabo e dois condutores na forma de agulha que realizam a medida do nível de tensão diretamente pelo contato com a amostra ou corpo d'água.

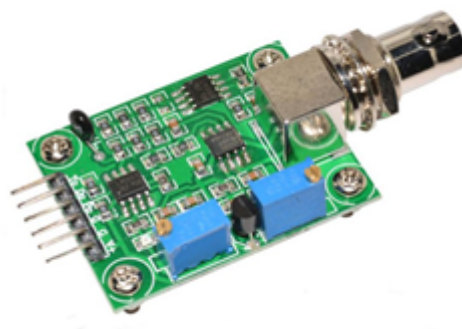
Para a medição de SDT e CE, o processo de calibração é feito através da utilização de uma solução padrão de cloreto de potássio (KCl) e posteriormente são feitas as medições necessárias. O sensor utilizado em laboratório é um condutivímetro que afere medidas de CE e através de um fator de conversão, realiza as medições de SDT.

3.2.3 Sensor de pH

O sensor de pH utilizado neste trabalho possui um sistema de compensação de temperatura e é composto por uma placa de condicionamento do sinal e uma sonda. A base do funcionamento do sensor é a conversão sinal obtido pela medição da sonda pelo método potenciométrico. O pH indica a concentração de íons de hidrogênio presente em determinada solução. Esse valor de pH é medido a partir da diferença de potencial existente entre dois eletrodos: um eletrodo de referência (geralmente prateado) e um eletrodo de vidro que é sensível ao íon de hidrogênio.

A constituição da sonda é feita pelos dois eletrodos e as soluções internas que os compõem. o sensor de pH da DM custa aproximadamente R\$ 170,00, realizando medições em uma faixa de pH entre 0 e 14. Para o sensor de temperatura integrado, a medição ocorre entre 0 e 60 °C. A acurácia de medição para o pH é de $\pm 0,1$ pH. Na Figura 3.7 é verificada a placa de condicionamento de sinais do sensor de pH.

Figura 3.7: A placa de condicionamento de sinais do sensor de pH (FILIPEFLOP, Acesso em 08 de Maio de 2018).



A medição de pH possui como processo de calibração inicial a regulação da tensão de offset. Essa tensão é aquela que equilibra a tensão no conector da sonda do sensor, devendo estar próximo a 2,5 V. Para que isso ocorra é feita o manuseamento correto do potenciômetro que o sensor possui na sua placa de conversão de sinal. Após, utilizam-se soluções de pH padrão para definição de uma função linear que relacione pH em função da tensão, possibilitando assim realizar medições em amostras diversas. O sensor laboratorial utilizado para comparação foi o pHmetro da TECNAL.

3.2.4 Sensor de Temperatura DS18B20

O sensor de temperatura utilizado neste projeto é um sensor amplamente aplicado em projetos envolvendo qualidade de água, seja no estudo de processos que envolvem poluição, ou aplicações envolvendo aquários ou hidroponia. O sensor de temperatura digital DS18B20 é um sensor que possui como principais vantagens a medição a longa distância de ambientes úmidos e ser a prova d'água. O sensor custa aproximadamente R\$ 70,00, com faixa de detecção de -55 °C até 125 °C. A acurácia de medição é de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ na faixa de -55 °C até 85 °C Na Figura 3.8 é apresentado o sensor adaptado como uma sonda para medição em ambientes aquáticos.

Figura 3.8: O sensor de temperatura (FILIFEFLOP, Acesso em 08 de Maio de 2018).



Para a utilização do sensor de temperatura, não é necessário um rígido processo de calibração, apenas, uma comparação das medições realizadas com algum outro equipamento como termômetro e medidores de temperatura que possa estar integrado a outros sensores de bancada. Considera-se também que a medição da temperatura é essencial para a obtenção de parâmetros como oxigênio dissolvido, uma vez que a temperatura é um parâmetro relevante para a relação direta com o metabolismo microbiano e a vida aquática em geral (SPERLING, 2005).

3.3 Módulo de Aprovisionamento de Energia

O módulo de provisionamento de energia é utilizado para a simulação em ambientes externos, pois ao realizar a medição diretamente no ambiente, em rios ou represas, geralmente não é possível fazer uso da energia elétrica proveniente de instalações elétricas residenciais e prediais. Assim, faz-se necessário o uso de uma fonte de energia renovável e que possa ser armazenada para uso imediato e posterior.

Uma das energias renováveis com maior abrangência é a energia solar, e é utilizada nesse trabalho de forma a constituir um módulo de provisionamento de energia para o funcionamento da aplicação. Para que a placa microcontroladora seja energizada e que o módulo de aplicação acione os sensores, possibilitando a aquisição dos dados do ambiente, é preciso considerar uma estrutura formada por dispositivos que ajudam nos processos de conversão dos raios solares, controle de carga, armazenamento da energia e monitoramento de parâmetros básicos. Os componentes do módulo em questão são: placa fotovoltaica,

controlador de carga, bateria e sensores de temperatura e umidade e tensão.

3.3.1 Placa Fotovoltaica

Um dos principais componentes que envolvem um sistema de energia solar é a placa fotovoltaica. No mercado, existem diversos modelos de placas disponíveis, variando o tipo de semicondutor utilizado na fabricação, eficiência, entre outros fatores relevantes para o desenvolvimento de um sistema fotovoltaico.

A célula fotovoltaica utilizada neste projeto é do tipo Silício Policristalino, esse tipo de material consiste em pequenos cristais de silício. Para construção de uma célula, o silício policristalino é derretido e derramado em um molde quadrado, sendo resfriado e cortado em wafers quadrados. O valor da placa é de aproximadamente R\$ 60,00. A cor varia entre azul clara e azul escuro. Comparando-se as células monocristalinas e policristalinas, a disponibilidade das células monocristalinas é maior e produzem maior potência em menor espaço e vida útil mais longa, porém são mais caros e têm uma tolerância maior ao calor (ROY, 2014). Na Figura 3.9 é apresentada a célula solar utilizada.

Figura 3.9: A placa fotovoltaica utilizada (NEOSOLAR, Acesso em 08 de Maio de 2018).



3.3.2 Bateria

O elemento responsável pelo armazenamento da energia provinda da célula fotovoltaica é a bateria. A bateria utilizada neste trabalho é estacionária do tipo Valve Regulated Lead Acid

(VRLA), uma vez que é o tipo mais recomendado para sistemas solares fotovoltaicos. Baterias estacionárias são utilizadas em aplicações que exigem períodos longos de corrente elétrica moderada, ao contrário de sobrecargas em poucos segundos.

Essa categoria é projetada para que suporte períodos maiores de descarga, resultando em duração maior e adequada para sistemas solares. Entre as baterias VRLA estão dois outros tipos: a Absorbent Glass Mat (AGM) e as de gel. As baterias VRLA são reguladas a válvula e possuem recombinação interna dos gases, ou seja, a bateria não permite que haja migração de quaisquer elementos de fora para dentro ou dentro para fora. A bateria VRLA possui um eletrólito no seu interior, sendo confinado por uma manta de microfibra de vidro, no caso da tecnologia AGM ou confinado por sua gelificação, no caso da tecnologia Gel.

O Confinamento do eletrólito é relativo à característica de permitir o processo de recombinação interna dos gases que são gerados no processo de operação, de forma que a perda dos elementos ativos seja evitada, provendo também a isenção de manutenção interna.

As baterias VRLA AGM possuem vida útil de mais de 10 anos e resistência maior aos ciclos de carga e descarga, temperaturas altas, choques mecânicos e vibrações (SOLAR BRASIL, Acesso em 12 de Abril de 2019). Possuem ainda facilidade maior para carregar e uma potência de arranque maior em relação a outras baterias com ácido livre. Possui valor mais alto em relação às outras, porém, apresenta melhor qualidade. As Baterias de gel possuem vida útil superior a 10 anos e a principal diferença é a aplicação em sistemas solares embarcados, uma vez que sua camada de gel fornece segurança e estabilidade. O valor aproximado da bateria é de R\$ 80,00. Na Figura 3.10 é apresentada uma imagem da bateria utilizada.

Figura 3.10: A bateria selada e regulada por válvula (KABUM!, Acesso em 08 de Maio de 2018).



3.3.3 Controlador de Carga

Os controladores de carga são dispositivos utilizados para realizar o regulamento da carga que será fornecida para a bateria ao ser feito o uso de painéis fotovoltaicos. Dependendo do tipo de aplicação desenvolvida, mais complexa fica a forma de ser feita a regulação. Neste projeto foi utilizado um controlador que tem como objetivo apenas realizar a ligação da célula fotovoltaica e permitir proteção contra sobrecarga, inversão de polaridade e curto circuito.

Entre as principais características do controlador de carga utilizado ainda estão a compensação de temperatura interna em relação ao aumento de temperatura e a conservação da vida útil da bateria. Possui também parâmetros pré-ajustáveis para baterias dos tipos selada, gel e ventilada e indicadores LED para que sejam mostrados os estados de carga da bateria. O preço do controlador de carga é de aproximadamente R\$ 160,00. Na Figura 3.11 é mostrado o controlador de carga:

Figura 3.11: O controlador de carga (NEOSOLAR, Acesso em 08 de Maio de 2018).

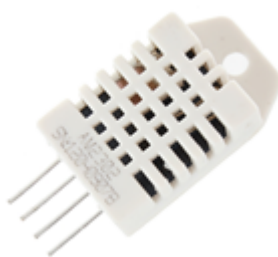


Considera-se também que para o melhor funcionamento do sistema e por medidas de segurança, é dimensionado um fusível para conexão entre a bateria e o controlador de carga. Considerando que a única carga a ser conectada no controlador é o painel fotovoltaico, a corrente utilizada para o dimensionamento do fusível é a do painel utilizado. Deve ser feita a conexão da bateria em primeiro lugar, depois, do painel fotovoltaico.

3.3.4 Sensor de Temperatura DHT22

O sensor de umidade e temperatura AM2302 DHT22 utilizado como componente do módulo de provisionamento de energia neste projeto, objetiva a medição de temperatura e umidade no local em que estará construído o protótipo. Uma vez que este local será em uma caixa com material apropriado, constituída por apenas algumas saídas, com o uso do sensor são monitorados possíveis aquecimentos dentro da caixa e a variação do nível da umidade. O sensor é formado por um termistor para medição do ar ao redor e um sensor de umidade capacitivo. O sensor custa aproximadamente R\$ 40,00. Na Figura 3.12 é verificado o sensor.

Figura 3.12: Sensor DHT (FILIPEFLOP, Acesso em 08 de Maio de 2018).



Entre as aplicações do uso deste sensor estão os sistemas de climatização, equipamentos de bens de consumo, controle automático e aplicações de monitoramento e controle de umidade. Entre as vantagens da utilização deste sensor estão a potência relativamente baixa, a distância de transmissão de até 20 metros, calibração automatizada, uso de um sensor capacitivo para medição digital da umidade, possui estabilidade e alta precisão.

Uma vez que o sensor possui calibração automática, é necessário apenas realizar a comparação dos valores obtidos pelo sensor com qualquer outro sensor de bancada ou

industrial que apresente valores de temperatura e umidade.

3.3.5 Sensor de Tensão

Para realizar o monitoramento do nível de tensão na bateria foi utilizado um sensor de tensão para corrente contínua, que realiza a leitura analógica e possui interface direta com qualquer tipo de placa microcontroladora. O princípio de funcionamento do sensor é baseado na leitura da saída analógica e a conversão do valor lido no momento da medição ao utilizar um divisor de tensão com dois resistores de 30k e 7,5k.

O limiar de tensão é definido de acordo com o pino que é utilizado. Por exemplo, no caso de ser utilizado o pino de 3,3 V, haverá tensão máxima de leitura de $3,3 \times 5$, resultando em limiar de 16,5 V. Porém, se for utilizada a convencional entrada de 5V, como utilizada neste trabalho, o limiar será de 5×5 , resultando numa leitura máxima de 25 V. O sensor possui o preço aproximado de R\$ 12,50. Na Figura 3.13 é verificado o sensor utilizado.

Figura 3.13: O sensor de tensão contínua (FILIPEFLOP, Acesso em 08 de Maio de 2018).



Para a validação das medidas obtidas pelo sensor de tensão é preciso apenas comparar as medições obtidas com um multímetro, verificando os níveis de tensão CC em diversos dispositivos.

3.4 O módulo de apresentação

A forma como os dados obtidos pelos sensores são enviados, a visualização destes e a análise posterior são atributos do módulo de apresentação. A forma de envio é relacionada ao processo

de atuação dos protocolos que permitem a comunicação fim a fim entre a conexão GPRS e a plataforma online. A visualização dos dados é responsável pela plataforma online, que fornece entre outras funcionalidades, a criação de um dashboard, uma área de apresentação interativa que representa os valores dos indicadores físico e químicos que estão sendo monitorados.

Esse dashboard é totalmente editável e permite ao gerenciador da aplicação criar widgets (interface gráfica do usuário através de botões, ícones, gráficos) para melhor visualização dos resultados, que são atualizados automaticamente de acordo com o envio dos dados. A visualização dos dados ainda pode ser vista a partir de um “banco de dados” que armazena os valores obtidos a partir da data e horário de envio, criando um gráfico de atualização automática.

Ainda é possível utilizar um motor de regras, que cria alertas referentes a valores obtidos pelos sensores, de forma a controlar as concentrações mínimas e máximas dos indicadores de poluição hídrica, enviando mensagens de texto via SMS ou e-mail para o gerenciador. A análise posterior é feita considerando todos os dados presentes na plataforma, deixando o usuário livre para realizar um possível tratamento dos dados ou verificar variações nas concentrações e valores dos indicadores em determinados horários, atuando de forma independente quanto ao uso dos dados.

A comunicação que é feita entre os sensores que estão adquirindo dados de amostras ou direto no corpo d’água e o correto envio destes dados para uma plataforma online, é relacionado a um abrangente conceito utilizado na implementação de tecnologias de gerenciamento e controle de dados por sensores ou dispositivos eletrônicos.

Os sensores e dispositivos são chamados de “coisas”, e a conexão destas “coisas” à internet, faz com que a forma de comunicação destes com a internet seja conceituada como Internet das Coisas, ou Internet of Things (IoT). O conceito de internet das coisas pode ser definido de diversas formas. A internet das coisas é a intersecção entre a internet física, social, de tempo real e programável que fornece a interconexão entre objetos em diferentes ambientes (PERERA et al., 2013). Nesse contexto, o desenvolvimento de uma aplicação no núcleo da

IoT, considera os procedimentos descritos na Figura 3.14:

Figura 3.14: O desenvolvimento de aplicações em Internet das Coisas. Fonte: Autor, 2021



Inicialmente, considera-se a constituição de um módulo que inclui hardware, dispositivos e sensores conectados, em seguida, esses componentes são especificados de acordo com a aplicação a ser desenvolvida, e posteriormente, é feita a visualização e análise dos dados por uma plataforma online.

Esses procedimentos são bem relativos à constituição dos módulos do sistema apresentado neste trabalho. O bloco mais relevante é o da aplicação, uma vez que o tipo de aplicação determina quais os sensores e dispositivos serão utilizados, atribuindo a forma de visualização e análise dos dados que será direcionada a uma plataforma online ou uma página web.

Uma das atribuições do módulo de apresentação é a forma de envio dos dados para a plataforma após ter definido a forma de comunicação, que no caso desse trabalho, foi definida a GPRS. No contexto da IoT, isso é realizado através de protocolos de comunicação, que definem aspectos como segurança, velocidade no envio e energia despendida pelos sensores e dispositivos.

Entre os protocolos mais comuns em aplicações de Internet das Coisas, estão o MQTT, CoAP e HTTP. Atualmente, há uma necessidade para o uso de protocolos de redes Low Power Wide Area (LPWA), que garantem longo alcance e baixo gasto de energia, como a Long Range Wide Area Network (LoRaWAN) e o SigFox.

A escolha do protocolo a ser utilizado muitas vezes está condicionada à plataforma de internet das coisas ou página web utilizada. Foi utilizada a plataforma online Ubidots for Education (UBIDOTS, Acesso em 12 de Abril de 2019). Esta plataforma fornece suporte de

conexão aos protocolos MQTT, HTTP, Transmission Control Protocol (TCP) e LoraWAN. Os protocolos utilizados foram o TCP e o HTTP. Para estabelecer a conexão com o servidor da plataforma foi utilizado o TCP, e para requisição do envio dos dados foi utilizado o HTTP.

O TCP é um protocolo de transporte que possui orientação à conexão, fornecendo uma transferência de dados confiável fim-a-fim, permitindo a recuperação de dados perdidos ou duplicados e organizando os dados recebidos que estão fora de ordem. Em questão de segurança o protocolo TCP adiciona um checksum (código utilizado para garantir a integridade dos dados transmitidos) a cada segmento transmitido.

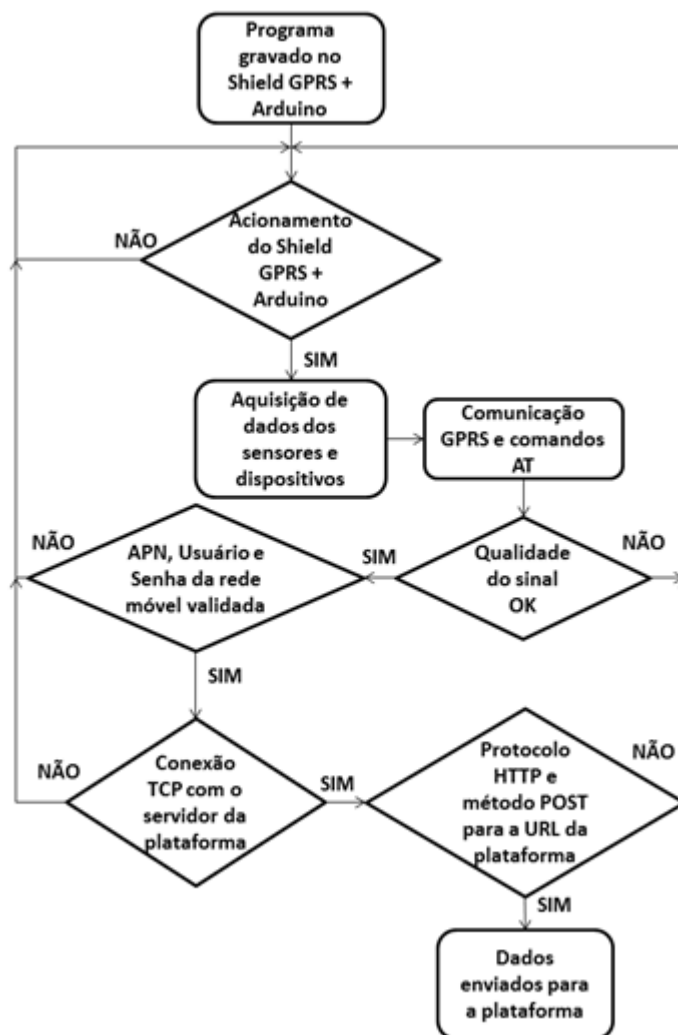
Em suma, o protocolo HTTP é utilizado em uma arquitetura voltada para aplicações web. A partir do uso de um navegador ou software são feitas requisições utilizando um método para o servidor web ou aplicações específicas. Na aplicação desenvolvida aqui, o protocolo HTTP é utilizado a partir da IDE Arduino para realizar uma requisição para o servidor da plataforma online Ubidots. Os métodos do HTTP são em sua maioria voltados para a interação com as determinadas URL, que são os endereços onde estão localizados os recursos que busca-se controlar ou gerenciar, e na maior parte do tempo são registrados em links ou sites.

Entre os métodos utilizados pelo HTTP estão o GET (buscar uma URL), HEAD (buscar informação sobre a URL), PUT (Armazenar em uma URL), POST (envia um dado para uma URL e espera uma resposta) e DELETE (deleta uma URL). Os métodos mais comumente utilizados são GET e POST. Entre as respostas mais comuns dos métodos utilizados pelo HTTP, para verificar o sucesso entre as requisições, estão o 200 OK (sucesso), 404 Not Found (Recurso sem disponibilidade), 503 Service Unavailable (Algo impede o funcionamento do servidor), 400 Bad Request (utilizado se a aplicação envia requisições falsas) e 403 Forbidden (tentativa de login mal sucedida).

Essas respostas podem ser verificadas no monitor serial da IDE Arduino a partir do momento no qual a aplicação está em funcionamento e as tentativas de envio de dados para a plataforma online começam. No caso da aplicação desenvolvida, o método utilizado foi o POST, para garantir que os dados, ou seja, os valores apontados pelos sensores sejam enviados para a URL, o link para o servidor da plataforma online. Na Figura 3.15 é apresentado um

fluxograma que mostra como é feito o processo de conexão com a plataforma online, desde o código compilado na IDE Arduino até a visualização de dados.

Figura 3.15: Fluxograma da Aplicação. Fonte: Autor, 2021



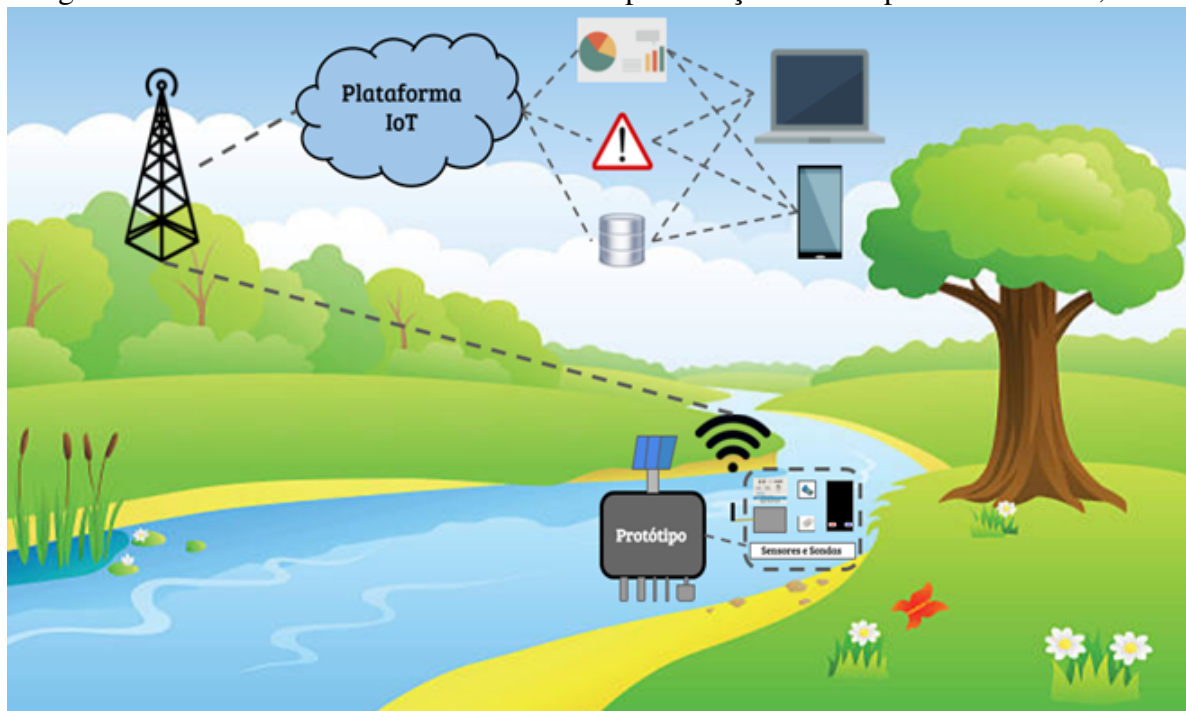
A plataforma online Ubidots, é definida como plataforma de IoT de serviços em nuvem. A Ubidots como empresa, foi criada como firma de serviços de engenharia no ano de 2012, se especializando em soluções de hardware e software para monitoramento remoto, controle e automação de processos para clientes da área da saúde. Entre os anos de 2012 e 2014 expandiram para indústrias que buscavam a conectividade pela internet, atuando não apenas em saúde, mas também nos setores de energia, utilidades, manufatura, transportes e varejo, realizando o começo de uma transformação digital em se tratando de computação em nuvem.

Com o passar dos anos e com parcerias e investimentos, a Ubidots saiu do status de startup e ganhou referência nos Estados Unidos, onde a partir de 2014 começou a trabalhar no desenvolvimento de uma plataforma mais competitiva pelas suas funcionalidades. Em 2018 lançou a plataforma Ubidots for Education fornecendo oportunidade para estudantes desenvolverem suas aplicações voltadas para Internet das Coisas.

A versão da Ubidots utilizada no trabalho é voltada para estudantes, como citado acima. A versão possui as mesmas funcionalidades da Ubidots utilizada a nível industrial, porém com um número de créditos gratuitos para o gerenciador das aplicações, limitando em um número suficiente para validação da aplicação o envio de dados.

A Ubidots for Education contempla todos os aspectos básicos já mencionados no diagrama do módulo de apresentação: Um dashboard para visualização da variação dos indicadores em tempo real, gráficos constituídos a partir dos dados que são armazenados dentro da plataforma e a oportunidade de cadastrar alertas em relação a concentrações ou valores máximos ou mínimos necessários para fins de estudo da aplicação desenvolvida. Na Figura 3.16 um diagrama que representa os procedimentos necessários para que o módulo de apresentação funcione corretamente:

Figura 3.16: O funcionamento do módulo de apresentação em campo. Fonte: Autor, 2021



Capítulo 4

Resultados e Discussão

Neste capítulo são apresentados os resultados e discussão em relação aos processos calibração e validação dos sensores e posteriormente das simulações executadas para validar o funcionamento dos módulos constituintes do sistema.

4.1 Calibração e Validação dos Sensores

Considerando os processos de calibração e validação dos sensores que apresentam os indicadores de qualidade física e química, são apresentadas as comparações em relação aos resultados obtidos dos sensores comerciais utilizados em laboratório e os sensores adaptados para placas microcontroladoras.

O número de amostras utilizadas e os resultados obtidos foram caracterizados principalmente pela disponibilidade de soluções padrão, amostras com conteúdos em boas condições para análise e equipamentos que pudessem ser utilizados como referência. Não foram utilizadas réplicas nas medidas realizadas, ou seja, foi considerada apenas uma amostra para as comparações. A incerteza nas medições entre os sensores para que se fossem obtidos resultados confiáveis e de qualidade foi estipulada em até $\pm 10\%$.

4.1.1 Sensor de Oxigênio Dissolvido

O Sensor de oxigênio dissolvido da HexiS, modelo YSI 5100-115, possui uma faixa de medição de 0 mg/L até 60,0 mg/L com acurácia de $\pm 0,1$ %. A resolução da medida é de 0,1 %, ou seja, 0,01 mg/L. Integrado ao sensor, o sensor de temperatura, possui faixa de medição de $-5,0$ °C até 50 °C, com acurácia de $\pm 0,1$ °C e resolução de 0,01 °C. O sensor pode ser encontrado com preços a partir de US\$ 1420,00.

Após a conclusão do processo de calibração pela interação com a IDE Arduino, foram utilizadas quatro amostras para comparação da medição das concentrações de oxigênio dissolvido. O equipamento utilizado em laboratório pode ser calibrado automaticamente e realiza a medição considerando entre outros parâmetros, temperatura, pressão e nível de saturação da amostra.

A amostra 1 é uma quantidade de água ultra pura utilizada no processo de calibração com saturação de 91,8 %. A amostra 2 é uma quantidade de 250 ml da água da rede. A amostra 3 é uma quantidade de 250 ml de água destilada e a amostra 4 é utilizada como a medição fora de qualquer solução, apenas no ar do ambiente. Na Figura 4.1 é mostrado o equipamento utilizado em laboratório com o sensor de referência e na Tabela 4.1 os resultados obtidos.

Figura 4.1: Sensor de oxigênio dissolvido HexiS

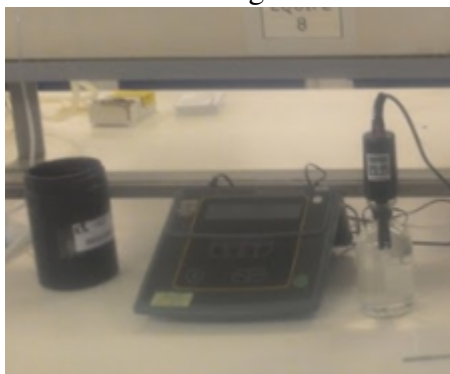
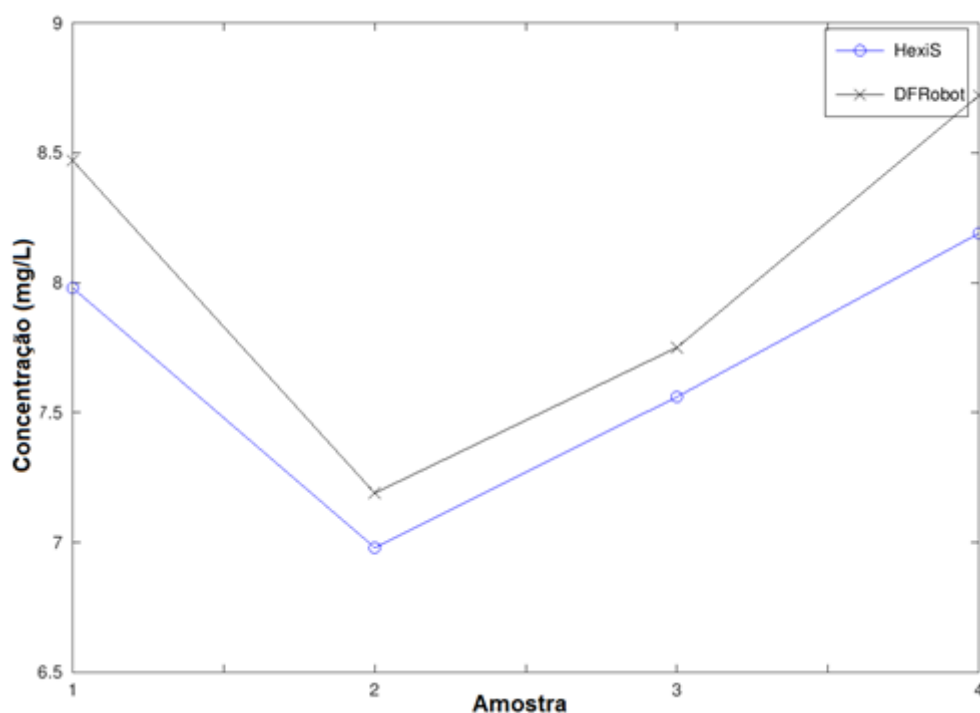


Tabela 4.1: Resultados obtidos após o processo de calibração para o sensor de O.D

Amostra	Concentração de O.D - Sensor HexiS (mg/L)	Concentração de O.D - Sensor DFRobot (mg/L)	Varição (%)
1 - Água com 91,8 % de saturação	7,98	8,47	6,14
2 - Água da rede	6,98	7,19	3,00
3 - Água Destilada	7,56	7,75	2,51
4 - Ar Ambiente	8,19	8,72	6,47

Na Figura 4.2 é mostrado o gráfico da comparação entre os resultados obtidos para ambos os sensores:

Figura 4.2: A comparação dos resultados para medição de O.D em quatro amostras. Fonte: Autor, 2021



Percebe-se que a partir dos resultados é verificada uma variação máxima de 6,14 %. Deve-se levar em consideração também que a precisão das medidas realizadas e a integridade do processo de calibração do equipamento laboratorial podem influenciar na comparação entre ambos. Uma vez que em se tratando da medição de um indicador que apresenta uma relativamente baixa, a diferença de custo entre os sensores e a possibilidade de garantir uma

medida direta em tempo real como referência e armazenamento posterior para comparação com as amostras que passam pelo processo de coleta, transporte e armazenamento, bem como a obtenção de alertas de concentrações que possam afetar a vida aquática, entende-se que a qualidade da medição do sensor DFRobot encontra-se como aceitável.

Na literatura apresentada nesse trabalho, o parâmetro mais relevante para realizar a discussão dos valores medidos são as resoluções CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005) e a CONAMA 430/2011 (BRASIL, 2011). Os valores de referência principalmente para as amostras de água da rede pública de abastecimento e da água destilada estão entre os valores mínimos das classes definidas pela resolução, acima de 5 mg/L.

4.1.2 Sensor de Sólidos Dissolvidos Totais e Condutividade Elétrica

A partir de uma solução padrão de KCl foi realizada a calibração do sensor DFRobot, e em seguida foram realizadas comparações com o equipamento utilizado em laboratório.

O Condutivímetro de bancada MB11 da Marte, possui preço aproximado de R\$ 1410,00. Com faixas de trabalho de 0 uS/cm a 20000 uS/cm para condutividade elétrica e de 0 ppm a 10000 ppm para SDT com resolução de 0,01. Para o sensor integrado de temperatura, faixa de medição de 0 °C a 100°C, com resolução de 0,1 °C, exatidão de $\pm 0,3$ °C e incerteza de $\pm 0,2$ °C.

O condutivímetro utilizado como referência também realiza a medição de SDT a partir de um fator de conversão definido no equipamento. Após o processo de calibração é obtido o valor da constante de célula (k) para ambos os sensores. No condutivímetro Marte foi obtido o valor de $k = 1,12$ e para o sensor DFRobot, como mostrado na Figura 4.3, $k = 1,15$.

Figura 4.3: Finalização da calibração e obtenção da constante de célula k. Fonte: Autor, 2021

```
>>>Confrim Successful,K:1.15, Send EXIT to Save and Exit<<<  
584ppm  
698ppm  
698ppm  
698ppm  
710ppm  
713ppm  
713ppm
```

Na Figura 4.4 é mostrado o equipamento para medição de SDT e condutividade elétrica pelo condutivímetro e na Tabela 4.2 são apresentados os resultados referentes às amostras utilizadas para comparação nas medições. A amostra 1 é a medição na solução padrão de 1413 $\mu\text{S}/\text{cm}$, a amostra 2 é a água da rede de abastecimento público de água, a amostra 3 é uma quantidade de amostra que simula as condições de um rio e a amostra 4 é uma quantidade de efluente tratado.

Figura 4.4: Condutivímetro Marte , sonda e sensor de temperatura

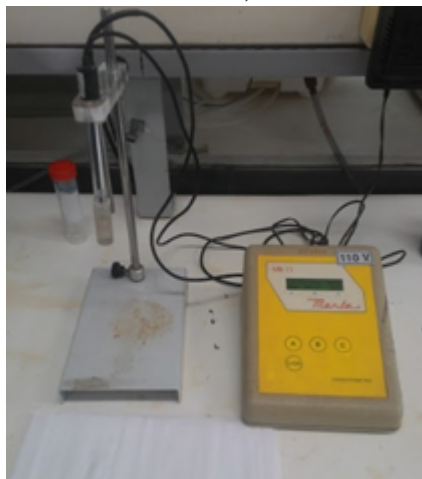


Tabela 4.2: Resultados obtidos pra o sensor de SDT e CE

Amostra	SDT Marte (ppm)	SDT Sensor DFRobot (ppm)	Variação SDT %	CE Marte ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	CE Sensor DFRobot ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Variação CE (%)
1 - Solução padrão de KCl (1413 $\mu\text{S}/\text{cm}$)	699,70	713,00	1,90	1374,00	1426,00	3,78
2 - Água da Rede	88,25	87,00	-1,41	176,50	174,00	-1,41
3 - Água do rio	32,41	30,00	-7,43	63,96	60,00	-6,19
4 - Efluente tratado	370,25	381,00	2,90	740,5	762,00	2,90

Na Figura 4.5 e Figura 4.6 são apresentados os gráficos comparando as medições de SDT e Condutividade elétrica para o condutivímetro e sensor DFRobot:

Figura 4.5: Comparação para as medições de SDT. Fonte: Autor, 2021

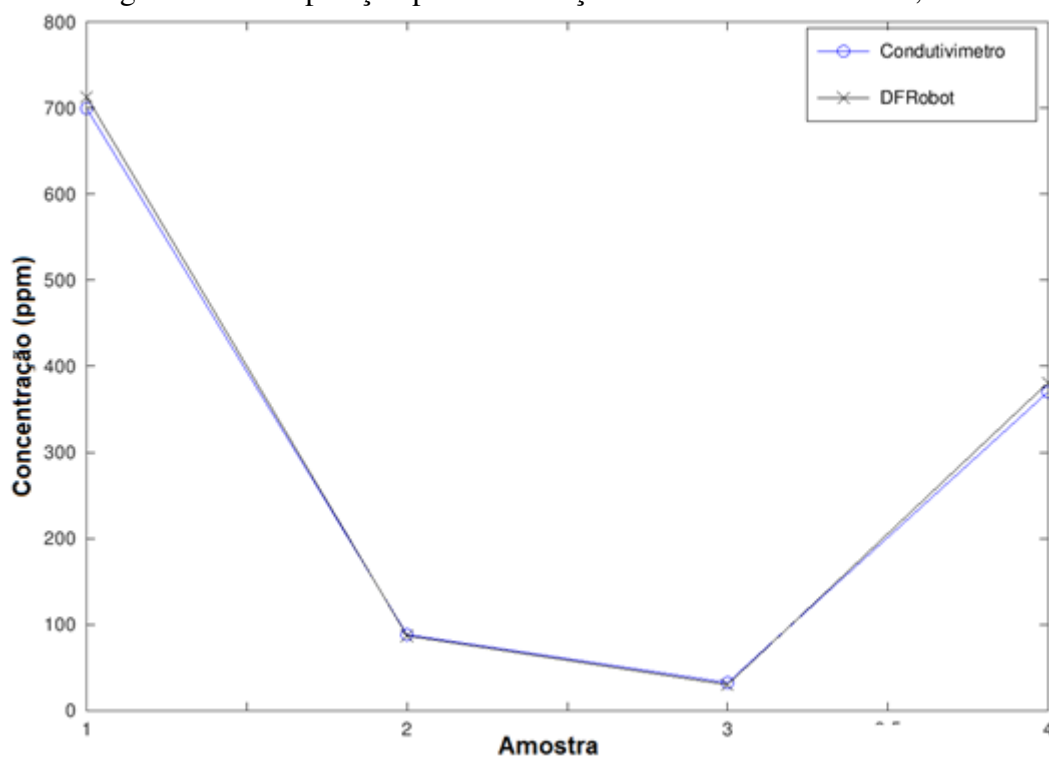
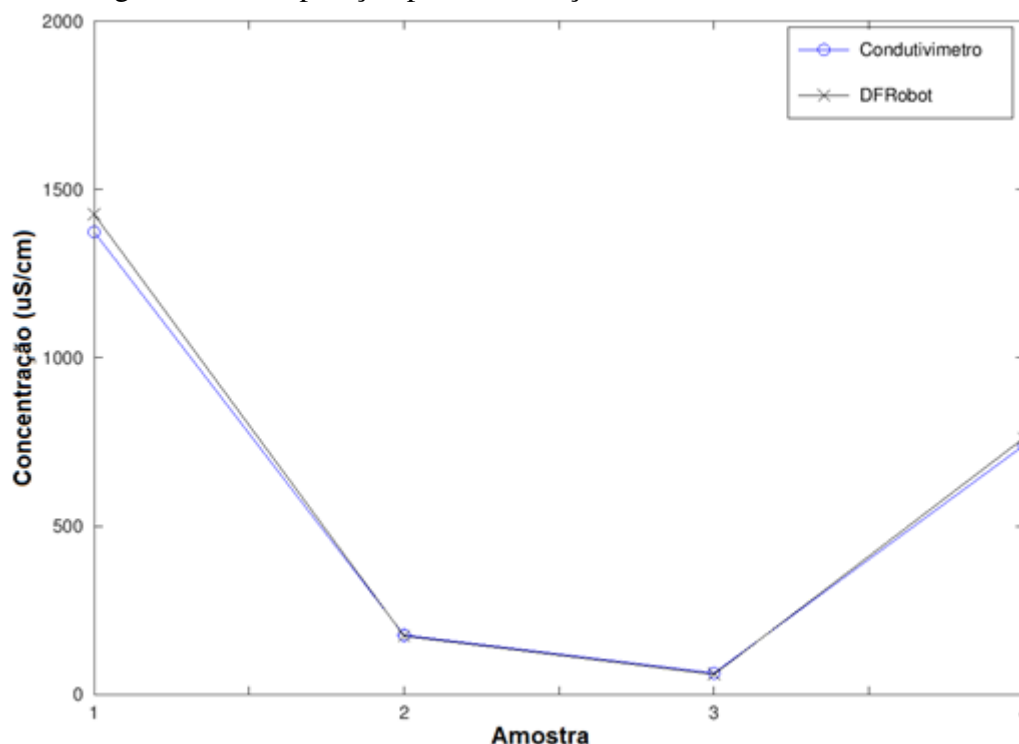


Figura 4.6: Comparação para as medições de CE. Fonte: Autor, 2021



As medições de SDT apresentaram uma variação máxima de 7,43 % para menos. As outras variações foram relativamente baixas. Como a faixa de leitura para o indicador é relativamente mais ampla, para valores menores a variação apresentou-se maior. Resultados similares foram vistos para a medição da condutividade elétrica, uma vez que o equipamento utilizada uma conversão de fator 0,5, fazendo que grande parte das medidas tenha valor duplicado. Ainda se tratando da validação do sensor, o sensor de SDT e CE da DFROBOT possuem fácil implementação e baixíssimo custo em comparação com o utilizado em laboratório, permitindo assim como para o sensor de oxigênio dissolvido, a medição em tempo real com envio dos dados para uma plataforma online.

Em termos de comparação, entre as amostras mais referenciadas na literatura, a medição em água bruta apresenta tanto para SDT e para condutividade elétrica uma extensa variação. Essa variação depende do ponto onde é feita a coleta da amostra, das condições meteorológicas e da relação com a atividade biológica dos ecossistemas aquáticos da região analisada. Nos trabalhos dos autores Garcia et al. (2018) e Tomazin (2015), percebeu-se a faixa de medição para diferentes regiões, bem como nos resultados de Garcia et al. (2018) o desvio padrão elevado para ambos os indicadores analisados. Entende-se que os valores medidos na amostra

da água do rio estão dentro do esperado em relação a literatura apresentada.

4.1.3 Sensor de pH

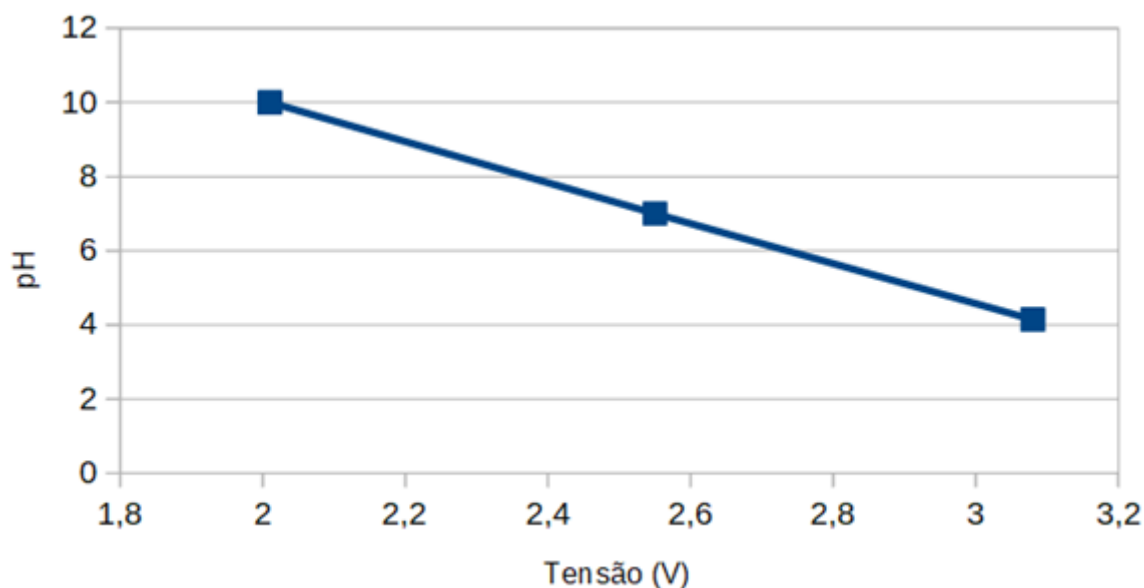
Após o processo de regulação da tensão de offset no conector da placa de transmissão de sinal do sensor de pH DM, obtendo o valor de 2,5V, foram utilizadas soluções padrões de pH para calibração do sensor. Essa calibração utilizou como referência um pHmetro, desde a medição do pH nas soluções padrões até os testes em amostras diversas. As três primeiras amostras são as soluções de pH 4,7 e 10. A partir dessas amostras foram verificados os valores equivalentes de tensão, obtendo os resultados apresentados na Tabela 4.3 e o gráfico da Figura 4.7, que mostra a função relativa ao pH em função da tensão. A função encontrada necessariamente apenas relaciona dois valores de pH a dois valores de tensão, portanto, torna-se uma função afim, descrita de acordo com a relação (6):

$$pH = -5,3962xV + 20,76 \quad (4.1)$$

Tabela 4.3: Relação entre pH e tensão para o sensor de pH DM

pH da solução padrão	Tensão na saída do sensor DM (V)
4,00	3,08
7,00	2,55
10,00	2,01

Figura 4.7: pH em função da tensão. Fonte: Autor, 2021



Na Figura 4.8 é mostrado o sensor pHmetro utilizado. O sensor de pH da TECNAL, modelo TEC3-MP possui faixa de leitura de pH de 0 até 14 com resolução de 0,01. A exatidão e incerteza para a medição de pH é de $\pm 0,01$. O sensor de temperatura integrado possui faixa de medição de 0 °C até 100 °C com resolução de 0,1 °C. A incerteza para a medição de temperatura é de $\pm 0,2$ °C.

Uma vez que as três primeiras amostras são as soluções padrões, e estas também foram medidas, a amostra 4 é da água da rede, a amostra 5 é de água filtrada, a amostra 6 é de esgoto bruto e a amostra 7 é de chorume. Na Tabela 4.4 são mostrados os resultados de pH medidos para ambos os sensores: pHmetro e sensor DM utilizado na placa DFRduino. Na Figura 4.9 é verificado o gráfico que compara os resultados obtidos.

Figura 4.8: O pHmetro

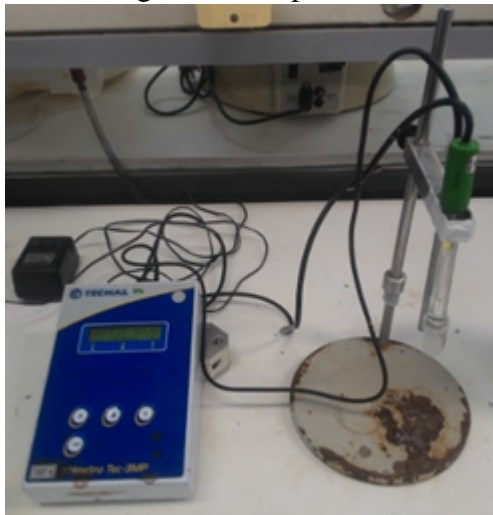
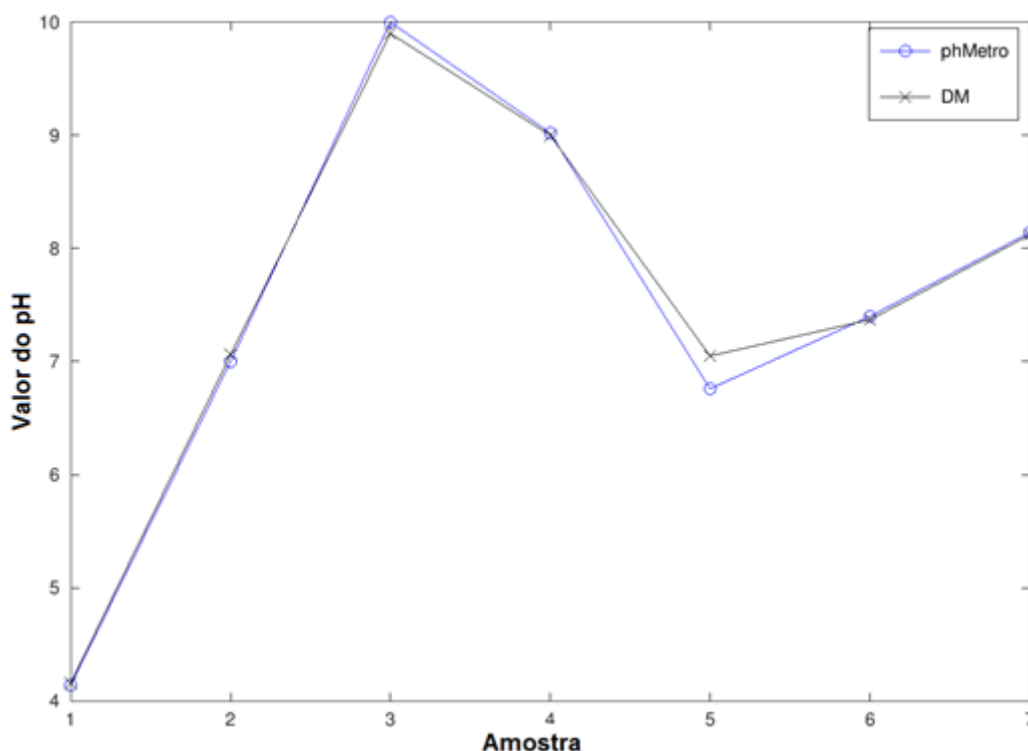


Tabela 4.4: Resultados da comparação entre os sensores de pH

Amostra	Valor do pH - pHmetro	Valor do pH - Sensor DM	Variação (%)
1 - Solução padrão pH 4	4,14	4,16	0,48
2 - Solução padrão pH 7	7,00	7,06	0,85
3 - Solução padrão pH 10	10,00	9,90	-1,00
4 - Água da rede	9,02	9,00	-0,22
5 - Água filtrada	6,76	7,05	4,28
6 - Esgoto bruto	7,40	7,37	-0,40
7 - Chorume	8,14	8,12	-0,24

Figura 4.9: Comparação entre as medições de pH do pHmetro e Sensor DM. Fonte: Autor, 2021



A maior variação encontrada para o sensor de pH DM foi de 4,28 % para a água filtrada. Os outros resultados apresentaram variação irrisória, fazendo com que a validação do sensor de pH DM em relação ao utilizado no laboratório fosse aprovada. Consideram-se também os ganhos relativos a possível medição direto no corpo d'água para envio dos dados medidos e a diferença de custo entre os sensores.

Em se tratando de valores apontados na revisão bibliográfica apresentada neste trabalho, algumas amostras como esgoto bruto e chorume podem servir como objeto de discussão. No trabalho de Souza et al. (2015) foi apresentada a medição em amostras de efluente bruto na entrada de uma estação de tratamento com função de obter na saída efluente tratado para reúso agrícola. A média do pH das amostras medidas foi 7,4. O valor é relativamente próximo ao obtido no processo de calibração, e mesmo considerando que os efluentes brutos possuem também suas características específicas para cada região e ponto de coleta, a variação do pH geralmente não é tão ampla quanto a de SDT e condutividade elétrica.

Em relação à amostra de chorume, o trabalho de Rigueti et al. (2015) realizou procedimentos para determinar concentrações de metais pesados em um aterro sanitário na

cidade de Dourados em Mato Grosso do Sul. Entre os reservatórios analisados, a variação encontrada foi entre 8,07 e 8,47. No processo de calibração, os sensores também obtiveram valores dentro dessa faixa para uma amostra de chorume disponível no laboratório. Pode-se concluir que para a medição de pH, além do bom desempenho da medição do sensor, é possível aliar os resultados vistos na literatura para a validação da utilização deste equipamento nas condições laboratoriais de teste realizadas.

Considerando a efetividade do processo de calibração dos sensores, é possível realizar posteriormente a validação da comunicação GPRS. Essa validação utiliza os sensores integrados com a placa microcontroladora e o shield GPRS, bem como, os componentes do módulo de provisionamento de energia. Essa validação é feita ao realizar uma simulação em um ambiente interno, que objetiva principalmente preparar o sistema para operação em um ambiente externo, com medição em corpos d'água, assimilando conceitos como a qualidade do código implementado e estabilidade da comunicação GPRS.

Em se tratando de investimento para desenvolvimento do projeto, um valor total de R\$ 2029,40 foi utilizado para a montagem do protótipo e execução da validação da comunicação GPRS e simulação no ambiente. Como já foram referenciados os custos aproximados dos principais componentes utilizados neste sistema, bem como, os valores dos sensores utilizados para comparação nos procedimentos de calibração, é possível a partir da Tabela 4.5 verificar novamente o custo aproximado para os componentes utilizados.

Tabela 4.5: Relação de custo para os componentes utilizados no desenvolvimento do protótipo

Componente	Preço aproximado (R\$)
Placa microcontroladora DFRobot	70,00
Shield GPRS Ecom	342,90
SIMCard + Plano mínimo de dados	15,00
Sensor de OD DFRobot	900,00
Sensor de SDT e Condutividade Elétrica DFRobot	80,00
Sensor de pH DM	170,00
Sensor de temperatura DS18B20	70,00
Placa Fotovoltaica	60,00
Controlador de Carga EPEVER	160,00
Bateria Selada 12 V	80,00
Sensor de tensão contínua	12,50
Sensor de temperatura e umidade DHT22	40,00
Caixa Hermética	10,00
Protoboard 400 pontos	19,00

4.2 Validação da Comunicação GPRS

Após o processo de calibração dos sensores, a primeira simulação é relativa aos testes com a comunicação de dados GPRS. A validação deste tipo de comunicação é necessária devido aos diversos fatores que influenciam no seu funcionamento. Entre eles, pode-se citar: o tempo de estabelecimento da conexão até o momento no qual os dados chegarão na plataforma online; a variação da qualidade do sinal, que pode ser influenciada pela cobertura da operadora de rede utilizada e do local onde serão feitas as medições; e a capacidade de utilizar uma lógica de programação que permita o reinício automático do sistema em casos de erros. A simulação foi realizada a partir de uma amostra de água da rede, utilizando todos os módulos do sistema. Assim, como se tratava de um ambiente fechado, foi testado também o tempo de descarga da bateria, visto que a célula solar não possuía acesso a uma exposição suficiente à radiação para manter o nível adequado de tensão na saída da bateria para funcionamento do shield GPRS.

A simulação considera que a partir do momento no qual o sistema está acionado, serão feitas tentativas de envio de um conjunto de dados. Esse conjunto de dados, é constituído pelos valores das concentrações de oxigênio dissolvido em mg/L, sólidos dissolvidos totais em ppm, condutividade elétrica em $\mu\text{S/cm}$, pH em escala de 1 a 14, temperaturas do ambiente e da água

em graus célsius (°C), umidade do protótipo em porcentagem, e tensão na saída da bateria em volts (V). Na Tabela 4.6 são apresentados os principais resultados obtidos da simulação e no gráfico da Figura 4.10, a distribuição dos conjuntos de dados de acordo com o tempo de envio à plataforma online.

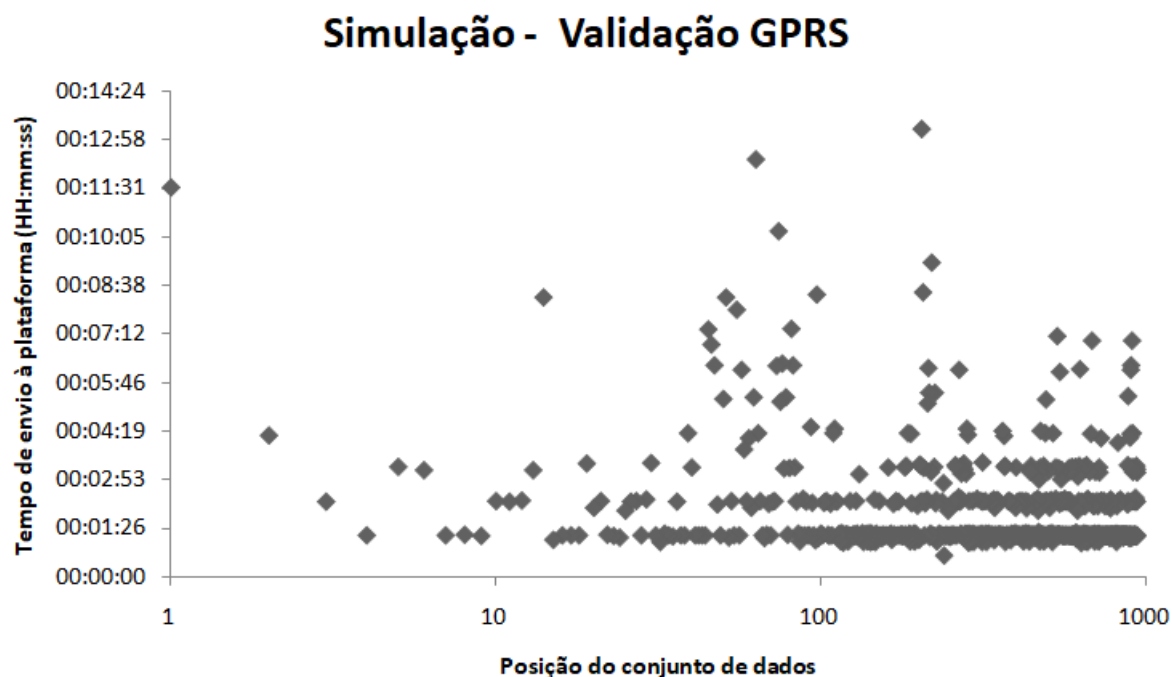
A distribuição do conjunto de dados apresenta-se dispersa em alguns momentos específicos devido aos procedimentos necessários para que seja feita a conexão com a plataforma online pela comunicação GPRS da placa microcontroladora. O tempo de envio à plataforma é determinado pelo período resultante deste processo. Uma vez que erros de resposta nos comandos AT do shield GPRS podem ocorrer em determinadas etapas, gerando ao reinício do processamento dos comandos até que se obtenha sucesso na conexão com a plataforma. Esse processamento está expresso na Figura 3.15.

Uma vez conectada à plataforma, o conjunto de dados é recebido e processado. Existem momentos em que existe estabilidade na conexão com a plataforma, permitindo intervalos de tempo menos irregulares para que os conjuntos de dados cheguem à plataforma. Podem ocorrer também, erros de memória comuns a nível de hardware, que geram a necessidade de forçar um reinício da placa microcontroladora e do shield GPRS, resultando no aumento da irregularidade do intervalo de tempo para envio dos dados.

Tabela 4.6: Resultados da simulação com GPRS

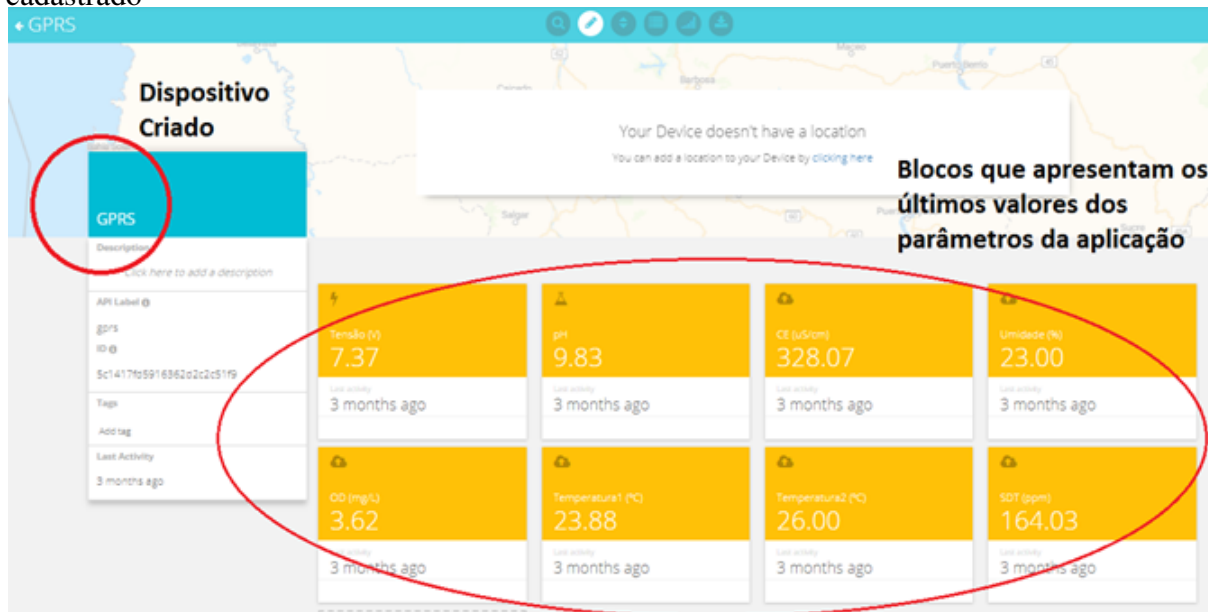
Início da simulação	Término da simulação	Tempo total	Quantidade de conjuntos de dados enviados à plataforma	Tempo médio de envio dos conjuntos de dados (minutos)	Desvio padrão do tempo de envio dos conjuntos de dados
14/12/2018 - 18:56:00 (Momento no qual foi recebido o primeiro conjunto de dados pela plataforma)	15/12/2018 - 23:22:24 (Momento no qual foi recebido o último conjunto de dados pela plataforma)	28 horas, 26 minutos e 24 segundos	939	1 minuto e 49 segundos	1 minuto e 21 segundos

Figura 4.10: Relação entre os conjuntos de dados enviados e o tempo de envio à plataforma online. Fonte: Autor, 2021



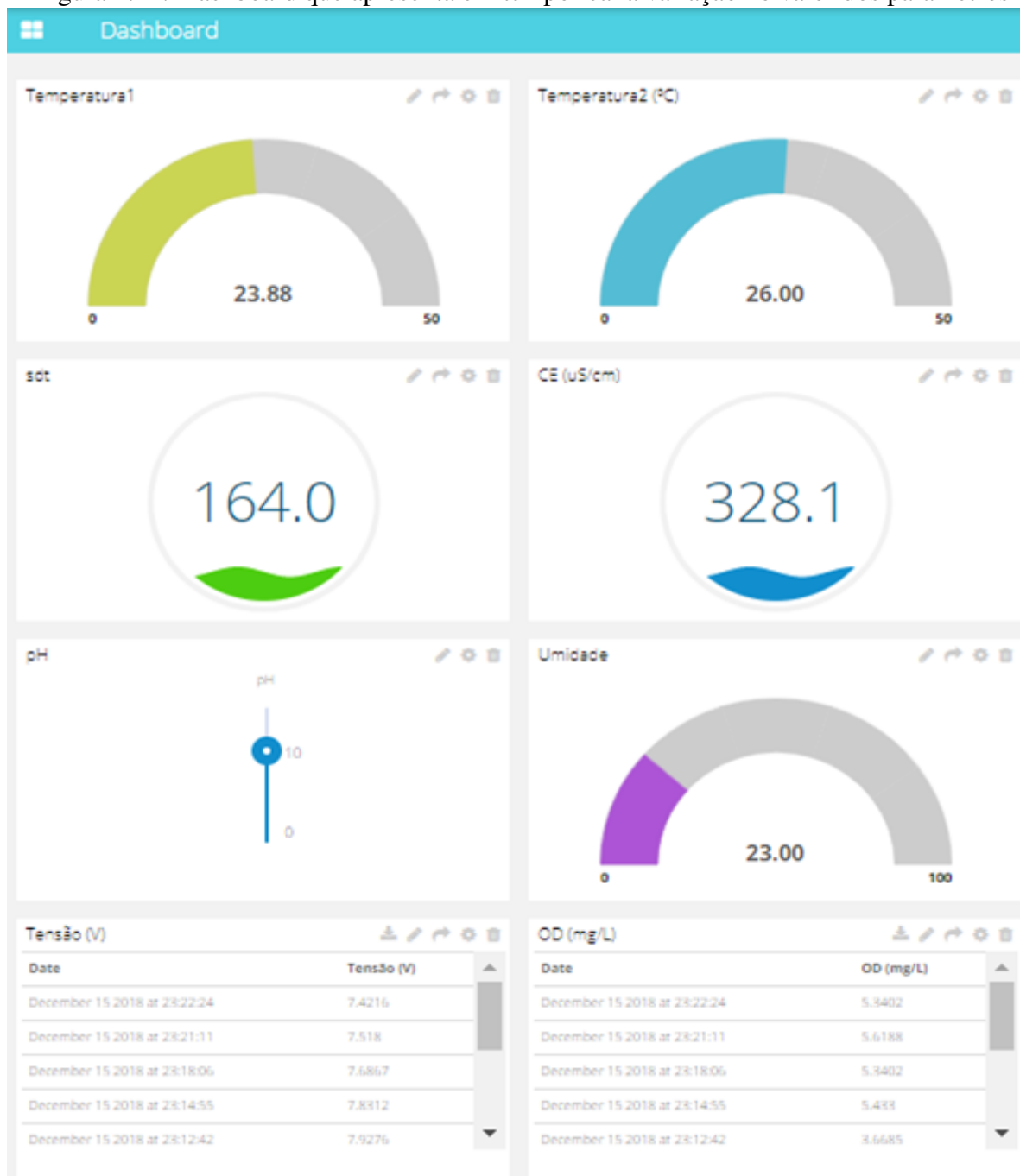
Em se tratando dos valores medidos pelos sensores, na plataforma online, a partir do momento no qual o programa é compilado na IDE Arduino, é gerado um dispositivo, ou “Device”, dentro da plataforma. Esse dispositivo geralmente é relacionado à forma de conexão previamente cadastrada em uma biblioteca de códigos que é condicionada ao programa principal compilado. Uma vez que a forma de conexão utilizada foi a GPRS, é criado um dispositivo dentro da plataforma chamado “GPRS”. A partir desse dispositivo, é possível verificar as variáveis criadas a partir dele. No caso, essas variáveis representam as concentrações dos indicadores de qualidade de água e outros parâmetros relativos ao sistema, como é verificado na Figura 4.11:

Figura 4.11: Local da plataforma para visualização dos parâmetros relativos ao dispositivo cadastrado



A partir dos dados apresentados na Figura 4.11, é possível converter esses resultados em widgets, ou seja, ícones que alteram o seu status a cada atualização do dado recebido. É feita o cadastro de um widget para cada parâmetro, desde termômetros para a medição das temperaturas e umidade à listas que apresentam o horário do envio dado para um acompanhamento mais precisos. Na Figura 4.12 é mostrada a tela onde é criado automaticamente o dashboard a partir dos widgets cadastrados.

Figura 4.12: Dashboard que apresenta em tempo real a variação no valor dos parâmetros



A construção do sistema a partir dos seus módulos pode ser comparada com os trabalhos apresentados na revisão de literatura, de forma a entender os principais diferenciais e diferenças em relação ao sistema desenvolvido nesse trabalho.

No trabalho dos autores Shen et al. (2015), em termos de hardware, foi utilizado a placa microcontroladora Arduino, com um chip para comunicação de dados via ZigBee pelo protocolo IEEE 802.15.4. A visualização de dados foi feita através de uma página web,

reproduzindo uma tabela construída pelos dados dos sensores. Em comparação ao sistema desenvolvido nesse trabalho, a forma de comunicação de dados via GPRS com protocolo HTTP apresenta uma forma mais simplificada de implementação. A visualização dos dados por páginas web demanda a necessidade de recursos computacionais para desenvolvimento e posterior acesso em redes diferentes, assim, utilizar uma plataforma online como a Ubidots, permite aumentar a complexidade de codificação do firmware, mas ao mesmo tempo, facilita e fornece funcionalidades de visualização de dados mais apuradas e com maior disponibilidade.

Os autores Deng et al. (2013) tiveram uma complexidade maior do sistema na construção e integração do hardware e sensores. Uma vez que o processo de conversão analógico/digital demanda uma validação criteriosa, seus resultados geram maior confiabilidade nas medições feitas posteriormente. Entre os diferenciais do trabalho, estão a utilização do registro da localização por GPS, e de um módulo de obtenção de imagens para determinar a cor dos poluentes no local. Porém, a exibição dos dados fora de páginas web ou plataformas online, como o que foi feito nesse trabalho, gera uma visualização de dados menos eficiente em termos de análises com elementos como gráficos e acesso a base de dados, bem como, criação de alertas, que são funcionalidades básicas das plataformas online.

As principais vantagens do sistema desenvolvido nesse trabalho em relação ao apresentado pelos autores Cloete et al. (2016) é a possibilidade de trabalhar com uma integração via API para a plataforma online. Essa integração dispensa o uso de programas para posterior utilização dos dados medidos pelos sensores, permitindo o acesso via website ou aplicativo com as funcionalidades expostas diretamente aos usuários.

Os autores Salim et al. (2017), utilizaram recursos de hardware e sensores em número maior, de forma a permitir a interação via teclado. O sistema utiliza comunicação Wireless, o que pode dificultar a comunicação em locais onde não há equipamentos disponíveis para fornecer esse tipo de comunicação de dados. Também são utilizadas páginas web desenvolvidas com recursos computacionais próprios, o que pode levar a um nível regular de interação de outros usuários à aplicação em termos de funcionalidades.

Os principais diferenciais do autor Lamon (2014) foi em relação a construção de um protótipo com sensores desenvolvidos em laboratório, com baixo custo e apresentando os resultados a partir do LabView. A utilização de ferramentas como o LabView fornece diversas funcionalidades para os dados enviados pelos sensores, porém, assim como a utilização de páginas web, o acesso multiusuário pode ficar restrito, bem como, a forma de visualização de dados em diferentes dispositivos como celulares e computadores pode ser afetada.

Em relação aos trabalhos abordados, o sistema desenvolvido possui uma série de vantagens e diferenças em termos de complexidade para medição dos sensores e visualização dos dados pela plataforma online. A utilização de sensores adaptados para placas microcontroladoras com processos de calibração validados garantem redução na complexidade da conversão analógico/digital a partir de sensores comuns. A comunicação GPRS com protocolo HTTP apresenta uma eficiente forma de se integrar com servidores de páginas web ou plataformas online de forma segura, garantindo a conectividade em locais onde o corpo d'água a ser medido não suporta tecnologias como Wi-Fi. Utilizar uma plataforma online ao invés de páginas web ou softwares que necessitam instalações reduz a complexidade em termos de acesso multiusuário, conexão em diversos dispositivos e funcionalidades essenciais como a criação de alertas.

Considerando que o protótipo apresentou correto funcionamento na validação da comunicação GPRS, é feita a simulação no ambiente, a partir dos mesmos módulos utilizados nessa validação.

4.3 Simulação no Ambiente

A simulação feita no ambiente foi realizada no dia 10 de Março de 2019, na cidade de Cubatão, no estado de São Paulo. O protótipo foi colocado às margens do rio Pilões, considerando todos os seus módulos, no Parque Estadual da Serra do Mar, na reserva de Itutinga Pilões. O horário de realização foi entre as 11h00 e 12h00. O horário de simulação foi estipulado de acordo com o período de permanência mínima para comprovar o correto funcionamento dos sensores ao serem submetidos a um ambiente de diferentes variações,

levando em consideração a permanência efetiva como uma estação fixa no local e a simulação de longa medição já feita em laboratório.

No momento da simulação, a agitação das águas no lago era levemente turbulenta e havia períodos de garoa. A agitação é citada devido às condições de calibração já utilizadas anteriormente para os sensores no laboratório, considerando que algumas sondas acopladas aos sensores podem apresentar variação de leitura mais abrupta ou incorreta dependendo do tamanho dos elementos que as compõem. A simulação levou em conta também esse tipo de comprovação, uma vez que alguns parâmetros medidos em laboratório devem ser analisados em amostras de líquidos com agitação estável.

Em Figura 4.13, Figura 4.14 e Figura 4.15 são apresentadas imagens do protótipo no local onde foram realizadas as medições:

Figura 4.13: Protótipo internamente

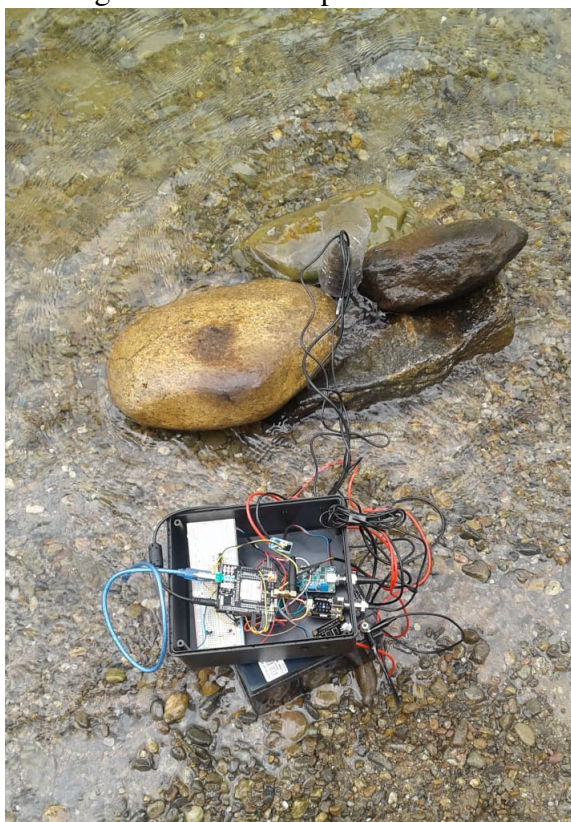


Figura 4.14: Rio onde foi realizada a medição



Figura 4.15: Protótipo realizando medição



Na Tabela 4.7 são mostrados os valores dos dados medidos durante o período de simulação:

Tabela 4.7: Relação de valores para os dados obtidos na plataforma online

Horário (hh:mm:ss)	CE ($\mu\text{S/cm}$)	O.D (mg/L)	SDT ($\mu\text{S/cm}$)	Temp. Água ($^{\circ}\text{C}$)	Temp. Protót. ($^{\circ}\text{C}$)	Tensão (V)	Umidade (%)	pH
11:46:14	81,20	9,42	40,60	24,87	27,20	11,42	69,00	13,63
11:41:59	81,10	9,33	40,55	24,93	27,20	11,44	69,10	13,36
11:39:45	81,10	9,28	40,55	24,93	27,10	11,44	68,90	13,54
11:38:32	81,20	9,28	40,60	24,87	27,10	11,44	69,20	14,00
11:33:34	72,19	9,28	36,09	24,93	27,70	11,44	63,40	13,27
11:28:02	63,25	9,38	31,62	24,93	28,30	11,44	66,30	12,97
11:23:53	63,25	9,38	31,62	24,93	28,60	11,44	66,60	13,05
11:19:46	63,25	9,38	31,62	24,93	29,10	11,44	61,10	12,79
11:18:33	63,25	9,51	31,62	24,93	29,00	11,46	61,30	13,01
11:09:09	80,90	9,24	40,45	25,06	28,70	11,42	63,30	12,83

A faixa de valores de SDT e condutividade elétrica apresentam-se satisfatória. Para SDT, entre 31,6 ppm e 40,6 ppm; e para condutividade elétrica, entre 63,2 $\mu\text{S/cm}$ e 81,2 $\mu\text{S/cm}$. Na medição feita em laboratório com uma amostra de água de um rio, obteve-se um valor próximo, bem como, já foi discutido os valores obtidos para essas grandezas nas medições em água bruta pelos trabalhos de Garcia et al. (2018) e Tomazin (2015).

Nos trabalhos, foi apresentada uma larga faixa de valores de SDT e condutividade elétrica, e, em certos momentos, um desvio padrão alto em relação a diferentes pontos de coleta, uma vez que há diversos fatores que influenciam as propriedades da água nos rios e lagos. Assim, a partir dos valores obtidos, pode-se considerar validado o funcionamento na medição em corpos d'água do sensor de SDT e condutividade elétrica da DFRobot.

Os valores obtidos para oxigênio dissolvido mantiveram-se estáveis, em nível relativamente alto, com menor concentração de 9,24 mg/L e maior concentração de 9,51 mg/L. Em termos de comparação com a literatura apresentada neste trabalho para medições de oxigênio dissolvido em corpos d'água, nos trabalhos de Araújo Júnior (2020) e Lelis et al. (2015), valores a partir de 8,4 mg/L foram observados em suas concentrações máximas, considerando que foram utilizados diversos pontos de medição em diferentes bacias

hidrográficas.

Os valores altos obtidos pelo sensor DFRobot são principalmente resultado da medição em local não profundo, onde é possível que ocorra maior atividade fotossintética de algas, resultando na liberação de oxigênio. Percebe-se também que pelo período de medição, as concentrações foram estáveis, validando a eficiência de medição da sonda no ambiente com agitação e funcionamento do sensor de oxigênio dissolvido da DFRobot.

A temperatura da água apresentou valores próximos à ambiente, variando entre 24,8°C e 25°C. A temperatura da água influencia diretamente as concentrações de oxigênio dissolvido, porém, como não houve uma variação abrupta na temperatura, também não foi identificada grande variação nas concentrações de oxigênio dissolvido. A temperatura do protótipo apresentou uma variação maior, entre 27,2°C e 29,1°C. Esses valores são bem maiores àqueles apresentados pela temperatura da água devido ao confinamento dos componentes eletrônicos dentro da caixa hermética, bem como, as variações da radiação solar diretamente no material da caixa nos períodos onde a chuva não ocorria. A umidade dentro da caixa hermética variou de 61,1 % até 69,2 %, acompanhando as variações de temperatura do protótipo.

A tensão contínua medida na saída da bateria apresentou pouca ou nenhuma variação relevante, uma vez que com o período reduzido de funcionamento não há grande transferência de energia para os componentes do protótipo. Uma vez que esse período fosse maior, assim como demonstrado na simulação em laboratório, a atuação do controlador de carga e das placas solares seria de extrema relevância para manter o funcionamento do sistema, uma vez que o processo de descarregamento é mais rápido a partir do momento no qual a placa microcontrolada e o shield GPRS estão conectados à tensão mínima de funcionamento (9V), como demonstrado na curva de decaimento de tensão.

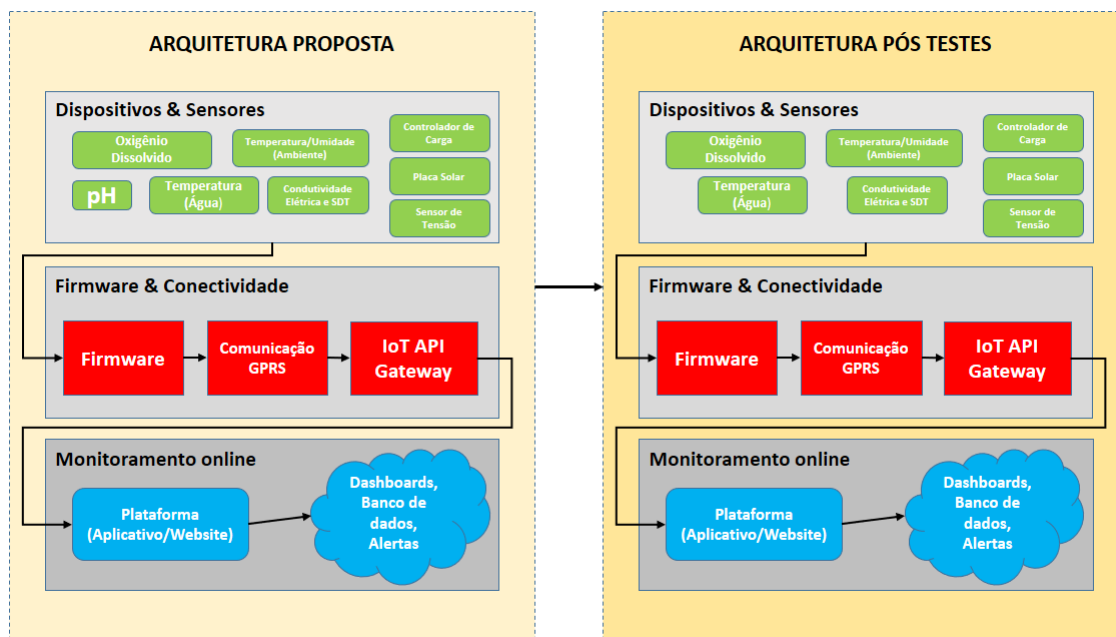
Os valores de pH apresentaram-se extremamente altos, chegando a ultrapassar a faixa teórica. Para os trabalhos apresentados na revisão de literatura, nos procedimentos de Araújo Júnior (2020) foi feita a medição de pH na bacia hidrográfica do rio Goiana, obtendo 8,4 como valor máximo de pH em período seco. No trabalho de Lelis et al. (2015), nas

medições de pH feitas na bacia hidrográfica do rio Formoso, o pH apresentou-se constante, com valor 8,08.

Os valores altos são ocorrência da grande agitação da água, que acaba influenciando a atuação da sonda, apresentando valores maiores e fora de realidade. A solução para uma medição mais eficaz de pH no ambiente é a partir da utilização de sondas maiores, que comportem agitações maiores, uma vez que, tanto o pH utilizado em laboratório, quanto o sensor de pH da DM possuem sondas similares, e a atuação em laboratório do sensor da DM foi excepcional, levando a considerar a atuação da placa de conversão de sinal válida, necessitando a utilização de uma sonda com componentes mais robustos.

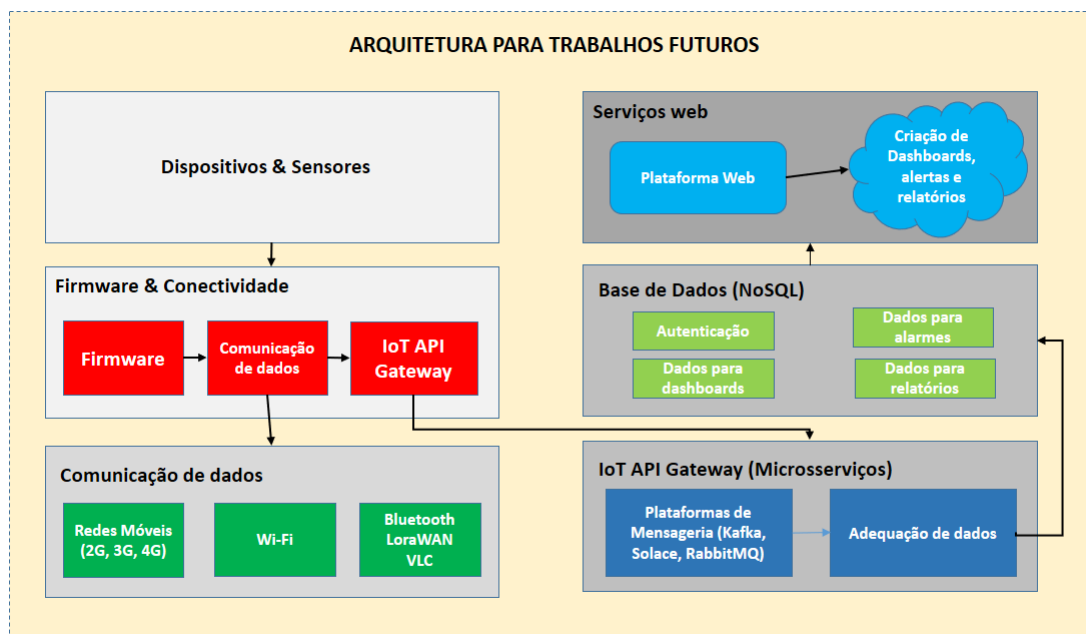
Considerando os testes realizados, na Figura 4.16 é apresentada a Arquitetura adaptada para a aplicação. Considera-se que apenas o sensor de pH, devido a variação irregular das medições deve ser desconsiderado para medições em ambientes externos. Mesmo com excelente desempenho em amostras de água com pouca ou nenhuma turbulência, o sensor utilizado deve ser adaptado para utilizar uma sonda mais robusta, de forma a permitir medições em locais com fluxo de água mais turbulento. Mesmo que não seja possível utilizar o sensor de pH em ambientes externos, seu uso pode ser feito em laboratórios de forma a digitalizar a coleta de dados e simulações em ambientes internos. Os demais sensores apresentaram valores dentro do esperado e das condições do local de medição, permanecendo na aplicação.

Figura 4.16: Arquitetura final da Aplicação. Fonte: Autor, 2021



Como trabalhos futuros, além da adaptação dos componentes físicos do sistema como os sensores, está o aprofundamento do entendimento do que é conhecido como IoT API Gateway ou IoT Hub. Esses nomes são referentes ao componente de um sistema que faz o processamento dos dados que são enviados de dispositivos e sensores. O desenvolvimento de um IoT API Gateway próprio garante funcionalidade para diversas aplicações, uma vez que ele funciona como um integrador, não diferenciando a fonte dos dados, mas apenas validando os dispositivos e processando os dados. Os dados processados nesse componente são armazenados em bases de dados, e a partir dessas bases, outros processamentos são feitos para que a partir da construção de páginas web, ou aplicativos, sejam exibidos dashboards, gráficos e diversas funcionalidades para a aplicação em estudo. A Figura 4.17 apresenta a adaptação da arquitetura atual no que poderá se tornar um trabalho futuro.

Figura 4.17: Proposta de Arquitetura para trabalhos futuros. Fonte: Autor, 2021



A proposta é detalhar as formas de comunicação de dados, uma vez que qualquer plataforma oferece diversas opções para comunicação de dados, porém, ainda mais relevante em termos de pesquisa, explorar tecnologias de comunicação de dados como a LoraWAN e a Visible Light Communication (VLC), que possuem suas respectivas vantagens. Deve ser construído um IoT API Gateway e posteriormente, um modelo de base de dados que possua flexibilidade para trabalhar com diversos conjuntos de dados em suas variadas formas de serem recebidas. As bases de dados NoSQL são apropriadas para esses tipos de dados. Após a organização das bases, deve ser feita a construção da página, que apresentará funcionalidades para análise dos dados pelos usuários. A proposta de trabalho futuro inclui principalmente utilizar componentes de sistema Open Source com custos mínimos e que possa funcionar como plataforma integradora de diversas aplicações em que sensores e dispositivos enviam dados, e consigam ser monitorados e estudados para que consigam fornecer análises e tomada de decisões sobre processos científicos e de negócios. Por exemplo, em um ambiente universitário, integrar aplicações de estacionamento (sensores de velocidade e posição), amostras laboratoriais (sensores de diversos segmentos da química e biologia), qualidade do ar (sensores de gases poluentes atmosféricos), entre outras.

Capítulo 5

Conclusões

Realizar monitoramento em tempo real de qualquer tipo de aplicação requer desenvolver sequências de processos que garantam do começo ao fim a integridade de funcionamento do monitoramento, bem como, assumir que os valores adquiridos pela fonte de medição estejam de acordo com a realidade do parâmetro analisado.

Neste trabalho, foram apresentados os módulos necessários para construção do sistema de monitoramento online, mostrando as características necessárias de operação, tecnologias envolvidas no processo e vantagens e desvantagens relacionadas ao seu uso. A partir dos testes, foi garantido que o monitoramento é executado de forma integra, garantindo a transmissão de dados de forma ininterrupta, bem como, dados estes que correspondem com a realidade dos parâmetros medidos em amostras diferentes e validados com um processo de calibração efetivo.

Os testes realizados em laboratório e em campo mostraram também a eficiência da comunicação de dados e acesso á plataforma online, obtendo os dados em tempo necessário para obter informações necessárias sobre a variação dos indicadores de qualidade química e física, indicando processos derivados da atividade da natureza ou humana que promovem poluição por entrada de matéria orgânica.

O conceito do sistema foi provado, mostrando que é possível de realizar um protótipo que realize medições de indicadores de qualidade hídrica de forma acessível, por sensores de baixo custo. O sistema também provou a capacidade de atuar de forma autônoma, enviando os dados

para uma plataforma online e posteriormente, permitir a criação de alarmes, dashboards e extrair os dados através de um banco de dados, fornecendo análises mais apuradas por quem a usa.

Referências bibliográficas

ALMEIDA, N. H. de. **Metodologia para Avaliação e Qualificação de Instrumentos Medidores de pH**. Curitiba: [s.n.], 2005.

AMARAL, M. C. et al. Avaliação da biotratabilidade do efluente de branqueamento de polpa celulósica por processos aeróbios e anaeróbios. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 18, n. 3, p. 253–262, 2013. ISSN 1413-4152. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522013000300008>.

ANACLETO, A. M. d. C. **Temperatura e sua medição**. Porto: [s.n.], 2007.

ARAÚJO JÚNIOR, J. C. M. de. ANÁLISE DO MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE RIOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GOIANA. **REVISTA GEOCIÊNCIAS - UNG-SER**, v. 19, n. 2, p. 24–34, 2020. ISSN 1981-741X. DOI: <http://dx.doi.org/10.33947/1981-741X-v19n2-4450>.

BUZELLI, G. M. et al. Análise e diagnóstico da qualidade da água e estado trófico do reservatório de Barra Bonita, SP. **Revista Ambiente & Água**, v. 8, n. 1, p. 186–205, 2013. ISSN 1980-993X. DOI: <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.930..>

CLOETE, N. A. et al. Design of Smart Sensors for Real-Time Water Quality Monitoring. **IEEE Access**, v. 4, p. 3975–3990, 2016. ISSN 2169-3536. DOI: [10.1109/ACCESS.2016.2592958](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2016.2592958).

DENG, S. et al. Research on small mobile water quality online monitoring device. **2013 10th IEEE International Conference on Control and Automation (ICCA)**, 2013. DOI: [10.1109/ICCA.2013.6565133](https://doi.org/10.1109/ICCA.2013.6565133).

DERISIO, J. C. **Introdução ao controle de poluição ambiental**. 5. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2017. p. 232. ISBN 9788579752360, 8579752361.

DFROBOT. **DFROBOT - Drive the future**. Disponível em: <https://dfrobot.com>: [s.n.], Acesso em 08 de Maio de 2018.

DILLENBURG, M. R. **Alternativas de aplicação do serviço GPRS da rede celular GSM em telemetria pela Internet**. São Paulo: [s.n.].

DUROVIC, B. et al. Monitoring the eutrophication using Landsat 8 in the Boka Kotorska Bay. **Acta Adriatica : International journal of Marine Sciences**, v. 59, n. 1, p. 17–34, 2018. DOI: <https://doi.org/10.32582/aa.59.1.2>.

FERREIRA, M. A. C. **Desenvolvimento de Sensores de Oxigênio Dissolvido Utilizando Métodos Eletroquímicos e Ópticos para Monitoramento em Tempo Real da Qualidade da Água**. São Paulo: [s.n.], 2017.

FILIPEFLOP. **Filipeflop - Componentes Eletrônicos**. Disponível em: <https://filipeflop.com>: [s.n.], Acesso em 08 de Maio de 2018.

FORLABEXPRESS. **Solução de Eletrólito de Oxigênio Dissolvido para Sonda Galvânica**. Disponível em: <https://www.forlabexpress.com.br/solucao-de-eletrolito-de-oxigenio-dissolvido-para-sonda-galvanica-30ml-hanna>: [s.n.], Acesso em 01 de Abril de 2021.

FUNASA. **Manual de Controle da Qualidade da Água para Técnico que Trabalham em ETAs**. Ministério da Saúde: [s.n.], 2014.

GARCIA, J. M. et al. Degradação ambiental e qualidade da água em nascentes de rios urbanos. **Sociedade e Natureza**, v. 30, n. 1, p. 228–254, 2018. ISSN: 1517-543X. DOI: <https://doi.org/10.14393/SN-v30n1-2018-10>.

GHOLIZADEH, M. H. et al. A Comprehensive Review on Water Quality Parameters Estimation Using Remote Sensing Techniques. **Sensors**, v. 16, n. 8, p. 1298, 2016. DOI: <https://doi.org/10.3390/s16081298>.

GIARDINO, C. et al. Application of Remote Sensing in Water Resource Management: The Case Study of Lake Trasimeno, Italy. **Water Resour Manage**, v. 24, p. 3885–3899, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11269-010-9639-3>.

HÄCK, D. M. **Medição óptica da concentração de oxigênio em água “- Relatório de Aplicação - Análise do Processo LDO**. Lisboa: [s.n.], 2017.

KABUM! **KaBuM! - Explosão de preços baixos!** Disponível em: <https://kabum.com.br>: [s.n.], Acesso em 08 de Maio de 2018.

KAUSHAL, S. S. et al. Rising stream and river temperatures in the United States. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 8, n. 9, p. 461–466, 2010. DOI: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1538>.

LAMON, A. W. **Aplicação de Microsensores no Monitoramento de Oxigênio Dissolvido, Potencial Redox e Temperatura em estudos Limnológicos**. São Carlos: [s.n.], 2014.

LELIS, L. R. M. et al. QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO FORMOSO, BONITO - MS. **Revista Formação (Online)**, v. 22, n. 2, p. 279–302, 2015. ISSN: 1517-543X. DOI: <https://doi.org/10.33081/formacao.v2i22.3151>.

NEOSOLAR. **NeoSolar - Energia Solar Fotovoltaica**. Disponível em: <https://neosolar.com.br>: [s.n.], Acesso em 08 de Maio de 2018.

PERERA, C. et al. Context Aware Computing for The Internet of Things: A Survey. **IEEE Communications Surveys and Tutorials**, v. 16, n. 1, p. 414–454, 2013. DOI: 10.1109/SURV.2013.042313.00197.

PIROTTI, R. P. Transmissão de dados através de telefonia celular: avaliação de desempenho de uma conexão de dados utilizando GPRS. **Revista Liberato**, v. 10, n. 14, p. 187–199, 2009. ISSN 1518-8043.

PIVELI, R. P. **CURSO: “QUALIDADE DAS ÁGUAS E POLUIÇÃO: ASPECTOS FÍSICO-QUÍMICOS”**. São Paulo: [s.n.].

PULE, M. et al. Wireless sensor networks: A survey on monitoring water quality. **Journal of Applied Research and Technology**, v. 15, n. 6, p. 562–570, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jart.2017.07.004>.

QIN, Y. Microfabricated electrochemical pH and free chlorine sensors for water quality monitoring: recent advances and research challenges. **RSC Advances**, v. 5, n. 85, p. 69086–69109, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1039/C5RA11291E>.

RIBEIRO, T. G. et al. ESTUDO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS POR MEIO DA CORRELAÇÃO DE PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS, BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO ANICUNS. **Geochimica Brasiliensis**, v. 30, n. 1, p. 84–94, 2016. DOI: <https://doi.org/10.21715/GB2358-2812.2016301084>.

RIGUETTI, P. F. et al. Manganês, zinco, cádmio, chumbo, mercúrio e crômio no chorume de aterro sanitário em Dourados, MS, Brasil. **Revista Ambiente e Água**, v. 10, n. 1, p. 153–163, 2015. DOI: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1538>.

ROY, S. **Performance Analysis of mono-Crystalline and Poly-Cristalline Silicon Solar Cells Under Different Climatic Conditions: A comparative Study**. Dhaka: [s.n.], 2014.

RUSYDI, A. F. Correlation between conductivity and total dissolved solid in various type of water: A review. **IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science**, v. 118, 2018. DOI: [doi:10.1088/1755-1315/118/1/012019](https://doi.org/10.1088/1755-1315/118/1/012019).

SABESP. **Norma Técnica Interna SABESP NTS 013 - Sólidos - Método de Ensaio**. São Paulo: [s.n.], 1999.

SALIM, T. I. et al. Portable and online water quality monitoring system using wireless sensor network. **2017 2nd International Conference on Automation, Cognitive Science, Optics, Micro Electro-Mechanical System, and Information Technology (ICACOMIT)**, 2017. DOI: [10.1109/ICACOMIT.2017.8253382](https://doi.org/10.1109/ICACOMIT.2017.8253382).

SALLA, M. R. et al. Estudo da autodepuração do rio Jordão, localizado na bacia hidrográfica do rio Dourados. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 18, n. 2, p. 105–114, 2013. ISSN 1413-4152. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522013000200002>.

SANT’ANNA JR, G. L. **Tratamento Biológico de Efluentes: Fundamentos e Aplicações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2013. p. 398. ISBN 978-85-7193-327-9.

SHEN, S. et al. A Distributed Wireless Sensor Network for Online Water Quality Monitoring. **China Conference on Wireless Sensor Networks - Advances in Wireless Sensor Networks**, p. 685–697, 2015.

SILVA, G. M. da. **TERMOPARES - Dispositivos utilizados para medir temperatura**. Setúbal, Portugal: [s.n.].

SMITH, V. H. et al. Eutrophication science: where do we go from here? **Trends in Ecology and Evolution**, v. 24, n. 4, p. 201–207, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2008.11.009>.

SOLAR BRASIL. **Como escolher a bateria para um sistema de energia fotovoltaica Off-grid?** Disponível em: <https://www.solarbrasil.com.br/blog/como-escolher-a-bateria-para-um-sistema-de-energia-fotovoltaica-off-grid/>: [s.n.], Acesso em 12 de Abril de 2019.

SOUZA, C. F. et al. Eficiência de estação de tratamento de esgoto doméstico visando reuso agrícola. **Revista Ambiente e Água**, v. 10, n. 3, p. 587–597, 2015. DOI: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1549>.

SPERLING, M. V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Minas Gerais: Editora UFMG, 2005. p. 460. ISBN 85-7041-114-6.

TOMAZIN, C. F. Influência sazonal no transporte específico de metais totais e dissolvidos nas águas fluviais da Bacia do Alto Sorocaba (SP). **Geochimica Brasiliensis**, v. 29, n. 1, p. 23–34, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.21715/gb.v29i1.410>.

UBIDOTS. **Ubidots**. Disponível em: <https://ubidots.com/stem/>: [s.n.], Acesso em 12 de Abril de 2019.

VERONES, F. et al. Characterization Factors for Thermal Pollution in Freshwater Aquatic Environments. **Environ. Sci. Technol.**, v. 44, n. 24, p. 9364–9369, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1021/es102260c>.

WIRANTO, G. et al. Design of online data measurement and automatic sampling system for continuous water quality monitoring. **2015 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA)**, 2015. DOI: 10.1109/ICMA.2015.7237850.