

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA  
*CAMPUS* RIO PARANAÍBA  
SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

STEFANI KALINE L. DIAS  
VIVIANE RENIZIA M. SILVA

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE BAIXO CUSTO  
PARA MONITORAMENTO DA TURBIDEZ DA ÁGUA**

RIO PARANAÍBA

2023

STEFANI KALINE L. DIAS  
VIVIANE RENIZIA M. SILVA

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE BAIXO CUSTO PARA  
MONITORAMENTO DA TURBIDEZ DA ÁGUA

Monografia apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências para a a aprovação na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II

Orientador: Prof. Dr. Clausius Duque Gonçalves Reis

RIO PARANAÍBA

2023

STEFANI KALINE L. DIAS  
VIVIANE RENIZIA M. SILVA

## **DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE BAIXO CUSTO PARA MONITORAMENTO DA TURBIDEZ DA ÁGUA**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências para a aprovação na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II

APROVADA EM: 20 de dezembro de 2023

---

**Prof. Dr. Clausius Duque Gonçalves  
Reis**  
Orientador  
UFV-CRP

---

**Membro da Banca A**  
UFV-CRP

---

**Membro da Banca B**  
UFV-CRP

**RIO PARANAÍBA**  
**2023**

*Dedicamos essa monografia à nossa gatinha Skyrim, que lutou bravamente em cada segundo de sua vida felina*

# Agradecimentos

Nós, Viviane Silva e Stefani Dias, expressamos nossa sincera gratidão a todos que foram fundamentais em nossa jornada acadêmica e na realização desta monografia.

Agradecemos imensamente ao nosso orientador, Clausius Duque Gonçalves Reis, cuja orientação e presença foram vitais em cada fase deste projeto.

Um reconhecimento especial é devido aos técnicos Vinicius Guimarães Nasser e Vander Alencar de Castro, e ao professor Frederico Carlos Martins de Menezes Filho, por sua assistência inestimável e por ampliarem nossos horizontes acadêmicos.

Estendemos nosso agradecimento ao nosso grande amigo Igor Luz Gonçalves, cujo suporte e ajuda foram essenciais desde a concepção deste trabalho até sua conclusão.

Aos nossos gatos, os de antes e os presentes, Nidalee, Javier, Luna, Skyrim, Bonnie, Will, Vênus, Antonio, Zira e Cremosa, agradecemos todo o amor e companhia leal.

Eu, Viviane Silva, dedico um agradecimento especial à minha família: aos meus pais, Adriana Mendes da Silva Batista e Elcio Batista da Silva, pelo amor incondicional e esforços incansáveis que tornaram este momento possível; à minha irmã Vivian Raniere Mendes Silva, que sempre esteve ao meu lado; ao meu irmão Vitor Raone Mendes Silva que, além de irmão, se tornou um amigo insubstituível; à minha avó materna, Augusta Mendes da Silva, que demonstrou apoio e aceitação de forma amorosa quando eu mais precisei; e à Nidalee, nossa gata mais velha, que dormiu em meus cadernos durante toda a graduação. Agradeço também à minha colega e namorada, Stefani Kaline Leonel Dias, pelo companheirismo, apoio e amor, tanto no meio acadêmico quanto na vida.

Aos meus amigos próximos, Thaís Silva (Th), Rheirike Santos (Rhei), Giovanna Vidigal (Vidi) e Gabriel Paiva (Biel Bailarino), cuja fé e apoio foram essenciais para superar os desafios enfrentados. Vocês foram a luz que guiou meu caminho. Aos demais amigos, agradeço por cada momento e aprendizado compartilhado.

Eu, Stefani Dias, gostaria de agradecer aos meus pais, Vicente Márcio Dias e Lizandra Leonel Dias e irmão Wyttallo Márcio Dias, por toda assistência e estrutura que me deram ao longo dessa jornada. Quero dedicar um agradecimento especial à minha mãe, cujos ensinamentos sobre manter a fé em meio às tribulações e cuja força sempre foram fontes constantes de inspiração.

Ao meu melhor amigo de infância, Igor Luz, agradeço por ter sido colega, professor e irmão ao longo desse percurso. Expresso minha imensa gratidão a Adriana Batista Mendes da Silva e Elcio Batista da Silva por me acolherem em sua família com tanto carinho, tornando-me parte dela. Um agradecimento especial a Vivian Raniere Mendes

Silva, que se tornou uma irmã mais velha e introduziu a deliciosa tradição do bolo sem lactose em nossa casa.

Agradeço também à minha grande amiga, Barbara Ciocca, por tornar mais leves e divertidas as horas dedicadas ao trabalho, e aos demais amigos que cruzaram meu caminho, cada um contribuindo de maneira particular para minha jornada.

Um agradecimento singular é reservado à minha parceira de vida, Viviane Renizia Mendes Silva. Nossos dois anos juntas foram marcados por um crescimento conjunto, tanto pessoal quanto acadêmico e profissional. Agradeço por compartilhar todas essas experiências comigo. Esta monografia é apenas uma das diversas, grandes e maravilhosas coisas que vamos construir.

Finalizamos agradecendo à todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a concretização deste trabalho. Seu apoio e incentivo foram fundamentais para a nossa realização acadêmica.

*“Eu quero mostrar que posso ser um ninja esplêndido também, mesmo que eu não tenha ninjutsu ou genjutsu. Quero provar isso para o mundo inteiro!”*  
*(Rock Lee)*

# Resumo

A turbidez é um dos principais parâmetros para o monitoramento de qualidade da água e pode ser estimada utilizando dois tipos de conceito: turbidimetria e nefelometria. Neste trabalho, foi utilizado a nefelometria, que é definido pela quantidade de luz espalhada que é capaz de atingir um sensor localizado a  $90^\circ$  de um feixe de luz. O alto preço dos turbidímetros existentes no mercado é uma grande barreira para uma melhor classificação da água potável, principalmente em situações de baixo orçamento. O presente trabalho objetivou o desenvolvimento de um sistema de baixo custo baseado em Arduino para a avaliação da propriedade de turbidez da água, juntamente com uma plataforma de monitoramento online de dados. Espera-se que o mesmo possa ser utilizado tanto em ambientes educacionais, como salas de aula, quanto em casos práticos, como empresas de tratamento de água, devido ao seu custo-benefício em comparação com os turbidímetros comercialmente disponíveis.

**Palavras-chaves:** turbidez, nefelometria, Arduino, água, monitoramento.



# Abstract

Turbidity is one of the main parameters for monitoring water quality and can be estimated using two types of concept: turbidimetry and nephelometry. In this work, nephelometry was used, which is defined by the amount of scattered light that is able to reach a sensor located at 90 degrees from a light beam. The high price of existing turbidimeters on the market is a major barrier to better classification of drinking water, especially in low-budget situations. The present work aimed at the development of a low-cost system based on Arduino for the evaluation of water turbidity property, along with an online data monitoring platform. It is hoped that it can be used both in educational environments, such as classrooms, and in practical cases, such as water treatment companies, due to its cost-effectiveness compared to commercially available turbidimeters.

**Key-words:** turbidity, nephelometry, Arduino, water, monitoring.

# Lista de ilustrações

Figura 1 – Protótipo Tinkercad . . . . .	20
Figura 2 – Vista esquemática do circuito . . . . .	20
Figura 3 – Protótipo montado . . . . .	21
Figura 4 – Página inicial da Plataforma HidroBit . . . . .	24
Figura 5 – Gráfico e tabela atualizadas em tempo real . . . . .	25
Figura 6 – Gráfico com zoom, mostrando data, hora e turbidez na HidroBit . . . .	28
Figura 7 – Tabela com turbidez, data, hora e resistência na HidroBit . . . . .	28
Figura 8 – Segunda versão do protótipo do sistema a ser implementado . . . . .	30

# Lista de tabelas

Tabela 1	–	Designação dos pinos do UNO R3 . . . . .	19
Tabela 2	–	Resultados de medição com o protótipo do sistema . . . . .	26
Tabela 3	–	Media aritmética das medições em lux . . . . .	27

# Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>Objetivos</b>	<b>13</b>
2.1	Objetivos Específicos	13
<b>3</b>	<b>Referencial Teórico</b>	<b>14</b>
3.1	Turbidez	14
3.2	Turbidímetro	14
3.3	Internet das Coisas (IoT)	15
3.4	Arduino	15
3.5	Tinkercad	15
3.6	LDR	16
3.7	Diodo Emissor de Luz (LED)	16
<b>4</b>	<b>Trabalhos Relacionados</b>	<b>17</b>
<b>5</b>	<b>Métodos</b>	<b>19</b>
5.1	Protótipo	19
5.2	Calibragem	21
5.3	Amostras	23
5.4	Plataforma HydroBit	24
<b>6</b>	<b>Resultados</b>	<b>26</b>
<b>7</b>	<b>Conclusão</b>	<b>29</b>
<b>8</b>	<b>Trabalhos Futuros</b>	<b>30</b>
	<b>Referências</b>	<b>31</b>

# 1 Introdução

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), para que a água seja considerada potável, ela deve atender às seguintes exigências: apresentar aspecto límpido e transparente, não apresentar cheiro ou gosto indesejáveis, não conter nenhum tipo de micro-organismo que possa acarretar doenças ao ser humano e nem conter nenhuma substância em concentrações que possam causar qualquer tipo de prejuízo à saúde. A partir dessas exigências foram definidos parâmetros e *thresholds* para a classificação da qualidade da água ([PORTARIA, 2011](#)).

Existem mais de 90 parâmetros definidos pela Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021 ([MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2021](#)). Os principais são a turbidez, cor aparente, micro-organismos presentes, cloro livre e potencial hidrogeniônico (pH). Este estudo concentrou-se na turbidez, um parâmetro que avalia a capacidade da luz de penetrar em uma amostra de água. Pretende-se detalhar a criação de um sistema baseado em Arduino, incorporando sensores emissores e receptores de luz. Para isso, foi utilizado o princípio da nefelometria, que se define pela quantificação da luz dispersa capaz de atingir um sensor posicionado a um ângulo de 90° em relação ao feixe luminoso, conforme explicado por Franco ([FRANCO, 2009](#)).

Além disso, a fim de ampliar o escopo de uso do sistema, foi proposto uma plataforma online de monitoramento dos dados de turbidez obtidos: a HidroBit. A HidroBit apresenta-se como uma importante vantagem em relação aos métodos tradicionais de medição da turbidez, uma vez que permitiria o acompanhamento e análise dos dados sem a necessidade de contato direto com o dispositivo de medição.

O sistema acompanhado da plataforma, formam um infraestrutura de monitoramento de turbidez com custo-benefício superior aos turbidímetros presentes no mercado, sejam de bancada ou de bolso. Sua vantagem não encontra-se somente no preço, mas na possibilidade de armazenamento e visualização dos dados em tempo real e de forma conveniente e remota.

## 2 Objetivos

Desenvolvimento de um sistema de baixo custo como uma alternativa para a avaliação da turbidez da água, integrado a uma plataforma de acesso online que disponibiliza dados históricos das medições, através de uma abordagem baseada em Arduino e sensores emissores e receptores de luz.

### 2.1 Objetivos Específicos

1. O primeiro passo específico é criar um protótipo funcional do sistema utilizando a plataforma Arduino. Isso implica na seleção e integração dos componentes eletrônicos necessários, como sensores de luz e o próprio microcontrolador Arduino, para medir a turbidez da água. É importante garantir que o sistema seja eficiente e confiável na coleta de dados de turbidez.
2. O segundo objetivo específico é desenvolver uma plataforma online chamada HidroBit, que possui como funcionalidade um painel de controle (*dashboard*). Este *dashboard* será o meio pelo qual os usuários podem acessar, visualizar e analisar os dados de turbidez da água coletados pelo sistema. A HidroBit deve ser capaz de armazenar e exibir um histórico de dados para permitir análises de longo prazo e tendências da qualidade da água. O foco aqui está em criar uma interface de usuário intuitiva e informativa que possa apresentar os dados de forma clara e acessível.

## 3 Referencial Teórico

Neste capítulo, busca-se explicar e contextualizar conceitos importantes que serão citados nas próximas seções deste trabalho. O foco principal será definir termos que fogem a área da Tecnologia ou que são específicos e precisam de um contexto pré-definido.

### 3.1 Turbidez

Segundo [Correia et al. \(2008\)](#), a turbidez é definida como o grau de dificuldade que um feixe de luz encontra ao atravessar uma amostra de água. Esse fenômeno pode ocorrer devido à algas, microorganismos, minerais e materiais suspensos, os quais representam obstáculos para a passagem da luz ([BRAGA et al., 2005](#)). Ao encontrar essas partículas, a luz é refletida ([LOCH; BRENTANO, 2020](#)).

Existem duas técnicas para medir a turbidez: a turbidimetria e a nefelometria. Na turbidimetria, a luz medida é aquela que é absorvida, enquanto no método nefelométrico é a luz que de fato transpõe a solução ([NAOUM, 2010](#)). Devido a sua precisão e bom desempenho com diferentes tamanhos de partículas e concentração, a nefelometria foi escolhida como medida preferencial ([MARTINS, 2012](#)).

A unidade de medida mais utilizada para medir a turbidez da água é a NTU (*Nephelometric Turbidity Unit*). Na estação de tratamento, o valor máximo permitido para NTU é de 1 NTU. Já para a água nas redes de distribuição, o valor máximo permitido pode ser mais alto, podendo chegar a 5 NTU ([MARTINS, 2012](#)).

### 3.2 Turbidímetro

O turbidímetro é um dispositivo empregado na análise da turbidez da água, através da comparação entre a luz emitida e a luz capturada pelo sensor. Por meio desse procedimento, torna-se viável avaliar a quantidade de partículas sólidas em suspensão na água ([DE et al., 2020](#)).

Segundo [Pádua e Bernardo \(2001\)](#), os turbidímetros encontrados no mercado operam utilizando um detector posicionado em um ângulo fixo em relação ao feixe de luz incidente, o qual quantifica a reflexão da luz causada pelas partículas.

### 3.3 Internet das Coisas (IoT)

O conceito de Internet das Coisas (Internet of Things, ou IoT) pode ser entendido como uma inovação, no meio da tecnologia, que trouxe inteligência aos objetos como carros, eletrodomésticos e até mesmo peças de roupas. A ideia é que estes dispositivos interajam entre si e com o ambiente ([MADAKAM et al., 2015](#)). Há uma grande quantidade de campos onde a IoT atua, entre eles a indústria, a agricultura, nos projetos de casas inteligentes e também na saúde ([ZHU et al., 2015](#)).

O avanço da IoT está intimamente ligado aos avanços das tecnologias da rede de sensores sem fio (Wireless Sensor Network - WSN), que permite a medição, inferência e compreensão de indicadores do meio onde estes dispositivos estão inseridos ([GUBBI et al., 2013](#); [DINH; KIM; LEE, 2016](#)).

### 3.4 Arduino

Como descrito por [Evans, Noble e Hochenbaum \(2013\)](#), o desenvolvimento do Arduino teve início em 2005 na Itália, mais especificamente no Interaction Design Institute. Sua criação objetivava uma maneira de baixo custo para estudantes da instituição trabalharem com a tecnologia. Além de barato, sua fácil utilização ajudou o aparelho a ganhar popularidade.

Atualmente existem inúmeras versões de placas de Arduino, entretanto, o dispositivo pode ser resumido como uma plataforma de computação física ou embarcada, capaz de processar entradas e saídas entre elas e os componentes externos conectados. Esses componentes podem ser LEDs, botões, sensores de temperatura, sensores de distância, módulos Ethernet, entre outros ([MCROBERTS, 2018](#)).

### 3.5 Tinkercad

O Tinkercad é uma ferramenta web gratuita lançada em 2011 para modelagem 3D, e possui três opções de desenvolvimento, sendo elas: projetos 3D, circuitos e blocos de código. É uma ferramenta muito utilizada no âmbito educacional, pois possui vasta gama de componentes e funcionalidades que permitem integrações e testes completos ([ERYILMAZ; DENIZ, 2021](#)).

[Mohapatra et al. \(2020\)](#) destaca que utilizando essa ferramenta é possível simular todo o funcionamento de uma ambientação em Arduino, desde o código até o comportamento de sensores sem a necessidade de utilização de hardware real.



## 3.6 LDR

O Resistor Dependente da Luz (LDR) é um componente eletrônico semicondutor com dois terminais, cuja resistência varia de forma quase linear em função da intensidade luminosa incidente sobre ele. Além disso, trata-se de um componente não polarizado, permitindo que a corrente flua em ambas as direções.

Sob incidência de luz, o LDR libera elétrons livres, resultando na diminuição de sua resistência. Por outro lado, quando a luz incidente é reduzida, há uma escassez de elétrons livres, aumentando a resistência do dispositivo.

O Sulfeto de Cádmio (CdS), também conhecido como cápsula de Sulfeto de Cádmio, é o material primário utilizado em sua construção. Este material é arranjado de modo a maximizar a exposição à luz, sendo protegido por uma cobertura transparente para a maior parte do espectro visível, o que otimiza a absorção luminosa ([JÚNIOR; JUNIOR, 2013](#)).

## 3.7 Diodo Emissor de Luz (LED)

Desenvolvido nos anos 60 para superar as lâmpadas fluorescentes, um Diodo Emissor de Luz (LED) é um semicondutor, caracterizado por permitir que uma corrente elétrica percorra por somente um sentido, o que resulta na emissão de luz ([BULLOUGH, 2003](#)). Outra característica de extra relevância nesses dispositivos é seu caráter variável: tanto a sua intensidade, o comprimento de onda e a sua distribuição de energia pode ser controlada ([SILVA et al., 2017](#)).

## 4 Trabalhos Relacionados

Neste capítulo serão apresentados alguns projetos que, assim como o proposto neste trabalho, buscaram desenvolver um sensor de turbidez de baixo custo ou levantaram questões pertinentes acerca do tema. A seleção desses projetos se deu principalmente pela escolha de propostas que usaram uma placa Arduino e uma configuração de sensor e receptor que foi considerada relevante.

[Reis et al. \(2020\)](#) propõe um modelo de sensor de baixo custo utilizando o Arduino para aquisição e análise de dados, bem como fotodetectores LDRs cuja resistência, como descrito por [Patsko \(2006\)](#), varia conforme a sua exposição à luz. Este artigo tinha como objetivo encontrar a melhor disposição dos sensores. O mesmo obteve, como melhor resultado, a disposição dos sensores em 90°, configuração de dispositivos comprovada também nos trabalhos de [Kelley et al. \(2014\)](#), [Metzger et al. \(2018\)](#) e [Zang et al. \(2020\)](#).

Outro trabalho que também utilizou o Arduino e sensores LDR para construção de sensores de turbidez foi o de [Fagundes \(2016\)](#), que foca no reaproveitamento da água usada em lavadoras de roupas, onde a fonte de luz usada foi um laser. O cálculo da turbidez foi feito considerando a tensão demandada e as fases de lavagem programadas.

[Cardoso \(2011\)](#) quantificou-se a turbidez por correlação linear simples entre a tensão obtida e a turbidez conhecida de amostras de solução de formazina. Outro diferencial da proposta foi um software de visualização de dados feita em C# e ligada a um banco em MySQL. Assim como nessa publicação, também foi utilizado a correlação linear simples para definir a turbidez em NTU através da tensão obtida pelo sensor utilizado.

[Carvalho Bueno et al. \(2019\)](#) apresentam um método alternativo para medição da turbidez da água de ecossistemas aquáticos, que possa funcionar de forma contínua, levando em consideração as mudanças decorrentes de variações naturais do próprio ecossistema, como sedimentação decorrente de chuvas, e movimentação da água. Para o desenvolvimento do sistema, foram utilizados sensores LDR e Laser e, a partir dos resultados obtidos validaram o protótipo, concluindo que foi satisfatório, visto que os resultados foram os esperados. Vale lembrar que alguns procedimentos, segundo os autores, devem ser observados e revisados, caso o experimento se torne patenteado. Esse artigo possui forte relação com o presente trabalho, que pode ser observada através dos objetivos similares ao desenvolver um sistema de baixo custo utilizando Arduino.

[Godoy \(2019\)](#) também desenvolveu um projeto fortemente relacionado ao presente trabalho, onde relata sua preocupação com as águas do lago Paranoá, localizado em Brasília - Distrito Federal, e cria um protótipo composto por sensores que apresentam a qualidade da água em tempo real, podendo ser usado em coletas em laboratórios, por exemplo. A

autora demonstra a eficiência desse sistema, que pode ser utilizado para observação não só da turbidez, mas também do Ph e da temperatura da água. Relata ainda que se trata de um projeto de baixo custo e que não usa nenhum tipo de produto químico no processo. Expôs também os resultados satisfatórios da montagem desse projeto, sendo eficaz na apresentação da medida de turbidez na tela LCD do protótipo. Por fim, propõe novos experimentos e inclusão de mais parâmetros da IQA.

A proposta deste trabalho se destaca pela abordagem de utilizar sensores de uso geral, como o LDR, e LED branco de alto brilho, em vez de depender de um módulo pronto de sensor de turbidez. Essa escolha não só aprimora a funcionalidade do sistema, mas também reduz consideravelmente os custos de produção.

Conforme mencionado por [Oliveira et al. \(2021\)](#), um dispositivo de turbidez envolve dois sensores: um para captura e outro para emissão de luz, que pode ou não ser visível. Neste contexto, a opção pelo LED branco de alto brilho se mostrou mais vantajosa, não apenas por sua facilidade de uso, mas também por ser economicamente mais viável, já que está incluído no *kit* Arduino utilizado. Adicionalmente, o enfoque não se limita ao uso de uma tela LCD para exibir os resultados, que só podem ser visualizados no momento. Pelo contrário, a proposta visa disponibilizar os dados pela internet para análise em tempo real, através de visualizações interativas, e também armazenar essas informações para acesso futuro.

## 5 Métodos

O objetivo deste capítulo é fornecer uma descrição detalhada da metodologia utilizada no desenvolvimento do sistema de baixo custo, bem como na criação da plataforma de monitoramento em tempo real denominada HidroBit.

### 5.1 Protótipo

O presente trabalho teve como ponto de partida o desenvolvimento do sistema de baixo custo para medição da turbidez. O microcontrolador utilizado foi o UNO R3, devido a seu preço e facilidade de uso.

Além da placa Arduino outros componentes eletrônicos foram usados:

- 1 unidade de sensor receptor LDR 5mm;
- 1 unidade emissor LED de alto brilho;
- 14 unidades de *jumpers*;
- 2 unidades de resistores (220 ohms e 100k ohms).

É possível adquirir todos esses componentes em um conjunto chamado *kit* Arduino, que estava cotado em R\$ 168,00 no momento desta monografia ([ROBOCORE, 2023](#)). Em contrapartida, um turbidímetro portátil digital ultrapassa três mil reais em custo ([OLIVEIRA et al., 2021](#)).

A Tabela 1 apresenta a alocação específica dos pinos do microcontrolador UNO R3, os quais estabelecem conexões diretas ou indiretas com os demais elementos do sistema:

Tabela 1 – Designação dos pinos do UNO R3

Pino	Nome do Pino	Descrição
13	Digital 13	Conecta ao anodo (+) do LED branco de alto brilho. Utilizado para controlar o LED, podendo ligar ou desligar o mesmo através de programação.
GND	Ground	Conecta ao catodo (-) do LED branco de alto brilho. Serve como referência de terra (0V), completando o circuito.
A0	Analógico 0	Conecta a uma perna do LDR. Utilizado para medir a resistência variável do LDR, que muda com a intensidade da luz.
5V	5 Volts	Conecta a outra perna do LDR. Fornece a tensão necessária para o funcionamento do LDR.

A composição foi elaborada utilizando a ferramenta online Tinkercad. A Figura 1, proporciona uma visualização mais detalhada das interconexões com o Arduino e a Figura 2 a vista esquemática do circuito:

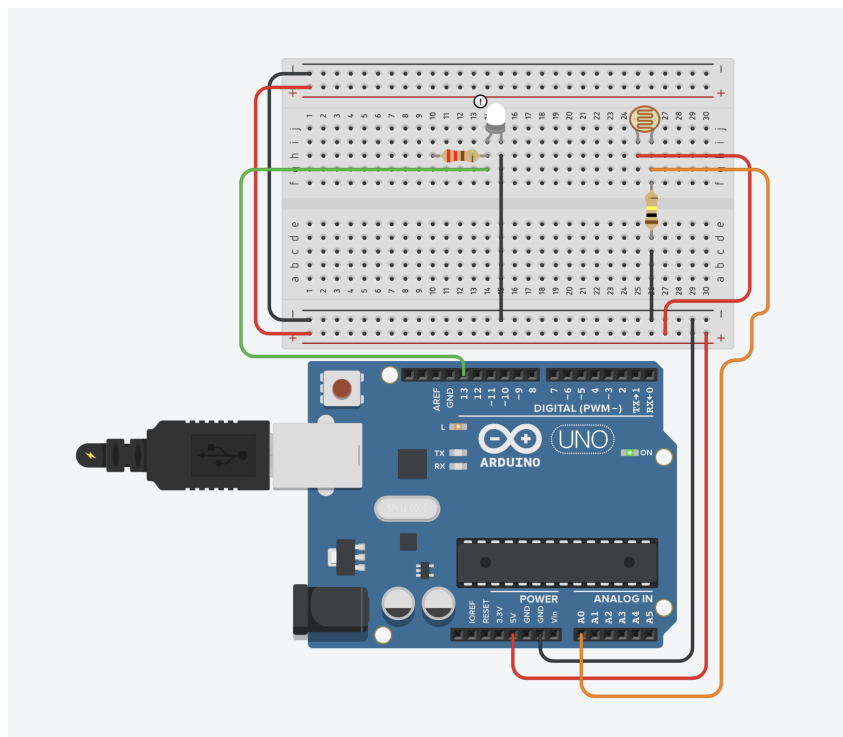


Figura 1 – Representação das conexões do Arduino feita no Tinkercad

Fonte: Próprio Autor

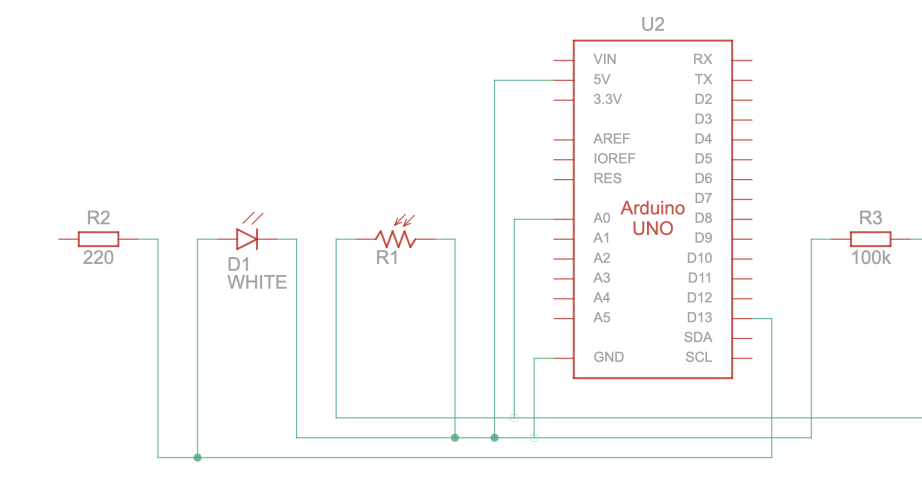


Figura 2 – Vista esquemática do circuito

Fonte: Próprio Autor

No que tange à disposição do sensor e emissor, esses componentes foram posicionados de forma oposta, em um ângulo de 180°, enquanto a amostra a ser analisada seria colocada

a um ângulo de  $90^\circ$  em relação a eles. Para prevenir a captação de luz externa pelo sensor LDR, essa configuração foi montada dentro de uma placa de isopor tingida de preto, o qual conta com uma cavidade ligeiramente maior que a cubeta das amostras. A placa, juntamente com o Arduino foram colocados dentro de uma caixa de madeira, como outra forma de contornar a influência da iluminação externa.



Figura 3 – Protótipo do sistema de baixo custo para medição da turbidez

Fonte: Próprio Autor

É importante destacar também que o LED de alto brilho espalha luz. Sendo assim, o emissor foi envolto por um canudo plástico, a fim de que a luz seguisse uma trajetória reta até a amostra.

## 5.2 Calibragem

Para viabilizar a utilização do protótipo do sistema na medição de turbidez, foi imprescindível realizar uma calibração, considerando que o sensor LDR não mensura NTU, mas a variação da resistência. Assim, a fase inicial deste experimento consistiu na medição de amostras com turbidez conhecida, visando estabelecer uma função representativa da relação entre a leitura do LDR e a unidade de turbidez (NTU). A relação entre a unidade de turbidez (NTU) e a resistência não pôde ser claramente estabelecida como linear. No entanto, é amplamente aceito que a relação entre iluminância (medida em lux) e resistência

tende a ser linear em um determinado intervalo de valores, conforme demonstrado no estudo de [Júnior e Junior \(2013\)](#). Em vista disso, optou-se por converter os valores de resistência para lux. Esta decisão é reforçada pela pesquisa de [Thongjan e Sirisathitkul \(2020\)](#), que evidencia uma correlação linear entre lux e NTU. Assim, a utilização de lux como intermediário na relação entre resistência e NTU fornece uma base mais robusta para a análise e interpretação dos dados.

As equações 5.1, 5.2, 5.3 e 5.4 representam os cálculos realizados para a conversão dos valores de resistência em iluminância (lux). Suas formulações são contingentes à tensão proveniente da porta específica do Arduino à qual o sensor está conectado, 5 volts, bem como à constante de resistência, 15000, inerente ao próprio sensor. Em virtude dos materiais utilizados na fabricação do LDR, diferentes respostas espectrais podem ser observadas ([MACHADO et al., 2015](#)), justificando, assim, a necessidade de empregar essa constante para uma conversão precisa.

Após descobertos os valores em lux, os mesmos foram utilizados em uma regressão linear simples para determinar essa relação entre lux e NTU. A escolha pela regressão linear baseou-se na necessidade de medir NTU numa faixa de 0 a 1000 NTU.

$$\text{vtagem} = \frac{\text{valorLDR}}{1024} \times 5 \quad (5.1)$$

$$\text{denominador} = 1 - \frac{\text{vtagem}}{5} \quad (5.2)$$

$$\text{resistência} = 15000 \times \frac{\text{vtagem}}{\text{denominador}} \quad (5.3)$$

$$\text{lux} = \left( \frac{RL10 \times 10^3 \times 10^{\text{GAMMA}}}{\text{resistência}} \right)^{\frac{1}{\text{GAMMA}}} \quad (5.4)$$

A conversão da leitura do LDR em lux pode ser visualizada de maneira mais detalhada e compreensiva também no Algoritmo 5.1:

```

1 FUNCAO read_ldr_and_lux:
2     ESCREVER para a porta serial o comando 'ldr'
3
4     LER resposta da porta serial
5     REMOVER espacos em branco no inicio e fim da resposta
6     DECODIFICAR a resposta
7
8     SE a resposta começa com 'Valor LDR: ' ENTAO
9         EXTRAI o valor analogico do LDR da resposta
10        CALCULA a tensao como (valor analogico / 1024) * 5
11        CALCULA o denominador como 1 - (tensao / 5)
12
13    SE tensao >= 5 OU denominador == 0 ENTAO
14        RETORNA valor analogico, Nenhum

```

```

15
16     CALCULA a resistencia como 15000 * tensao / denominador
17
18     SE resistencia == 0 ENTAO
19         RETORNA valor analogico, Nenhum
20
21     CALCULA lux como arredondado para 3 casas decimais de (RL10 *
1000 * 10^GAMMA / resistencia)^(1 / GAMMA)
22     RETORNA valor analogico, lux
23 SENA0
24     RETORNA Nenhum, Nenhum
25 FIM DA FUNCAO

```

### Algoritmo 5.1 - Conversão da leitura do LDR em lux

A implementação relacionado à leitura do sensor LDR e ao controle do LED foi desenvolvida utilizando a linguagem de programação Python no ambiente Jupyter Notebook. Para a comunicação com o Arduino, foi empregado o pacote Serial. Além disso, as conversões e a análise de regressão linear foram realizadas por meio dos pacotes Numpy, Scipy e Math.

## 5.3 Amostras

Na Seção 5.2, foi detalhada a fase inicial do experimento, que compreendeu a medição de amostras de turbidez com valores conhecidos. Utilizando o turbidímetro digital portátil disponível na instituição, um modelo DLT-WV, série 11151280, a substância adotada como amostra padrão foi a Formazina 4000 NTU. Esta substância é constituída por sulfato de hidrazina, hexametileno-tetramina pura e água destilada, seguindo o protocolo estabelecido por [Apha \(2005\)](#) para sua preparação.

Durante a fase de coleta de amostras, dois desafios foram identificados. Primeiro, a hexametileno-tetramina pura, essencial para a preparação das amostras, não estava disponível nos laboratórios do campus, necessitando de um processo de licitação para sua aquisição. Em segundo lugar, ao utilizar um método alternativo com amostras padrão do kit do turbidímetro DLT-WV, verificou-se a incompletude do kit.

Frente à presente circunstância, optou-se por empregar as amostras disponíveis, as quais compreendiam água pura com 0 NTU, além de duas amostras padrão, uma contendo 100 NTU e a outra 800 NTU. Em decorrência da limitação na quantidade de amostras, cada uma das amostras disponíveis foi submetida a três medições em três dias distintos.

Nesse cenários, escolheu-se pela utilização de uma regressão linear simples para análise das amostras. As repetições foram transformadas em unidades de lux e, a partir delas, calculou-se a média das leituras de cada amostra. Este procedimento visa fornecer os pontos necessários para a realização da regressão linear, com os valores de lux atuando



como a variável independente (X) e o valor de NTU, que é o parâmetro a ser determinado, funcionando como a variável dependente (Y).

## 5.4 Plataforma HidroBit

A plataforma online HidroBit, uma extensão crucial do sistema, destinada ao monitoramento e à preservação das análises, foi cuidadosamente desenvolvida com tecnologias específicas para otimizar sua funcionalidade: Node.js no back-end, garantindo uma operação ágil e segura; PHP para processamento eficiente de dados; e CSS para uma estilização front-end intuitiva e atraente. Essa combinação de tecnologias resulta em uma experiência de usuário notavelmente otimizada, crucial para o desempenho eficaz do sistema.

Como demonstrado na Figura 4, a interface de entrada da HidroBit combina elegância e funcionalidade. A paleta de cores, inspirada na cor e fluidez da água, não só estabelece uma identidade visual forte, mas também estabelece uma conexão com seu propósito primordial, o monitoramento de turbidez da água.

A interface é ainda mais aprimorada por um design que coloca o usuário no centro da experiência. O elemento mais proeminente na página inicial é um botão de comando de fácil acesso, projetado para levar o usuário diretamente ao painel de monitoramento. Isso facilita uma interação simples e direta, permitindo acesso imediato às principais funcionalidades da plataforma, reforçando a eficiência e a intuitividade da HidroBit.



Figura 4 – Página inicial da Plataforma HidroBit

Fonte: Próprio Autor

De forma abrangente, a versão final do código correspondente ao protótipo do

sistema é responsável por capturar as leituras provenientes do sensor LDR e convertê-las em unidades de lux. Essas leituras convertidas são utilizadas como entrada para a função resultante do processo de calibragem, culminando na obtenção do valor de turbidez da substância em questão, expresso em NTU. As medições resultantes são então encaminhadas para um banco de dados MySQL, integrado a plataforma HidroBit, promovendo uma atualização incremental tanto do gráfico quanto da tabela presentes na interface do usuário. Esta apresenta informações pertinentes, tais como os valores de turbidez, bem como a data e hora de cada medição, como pode ser visualizado na Figura 5.

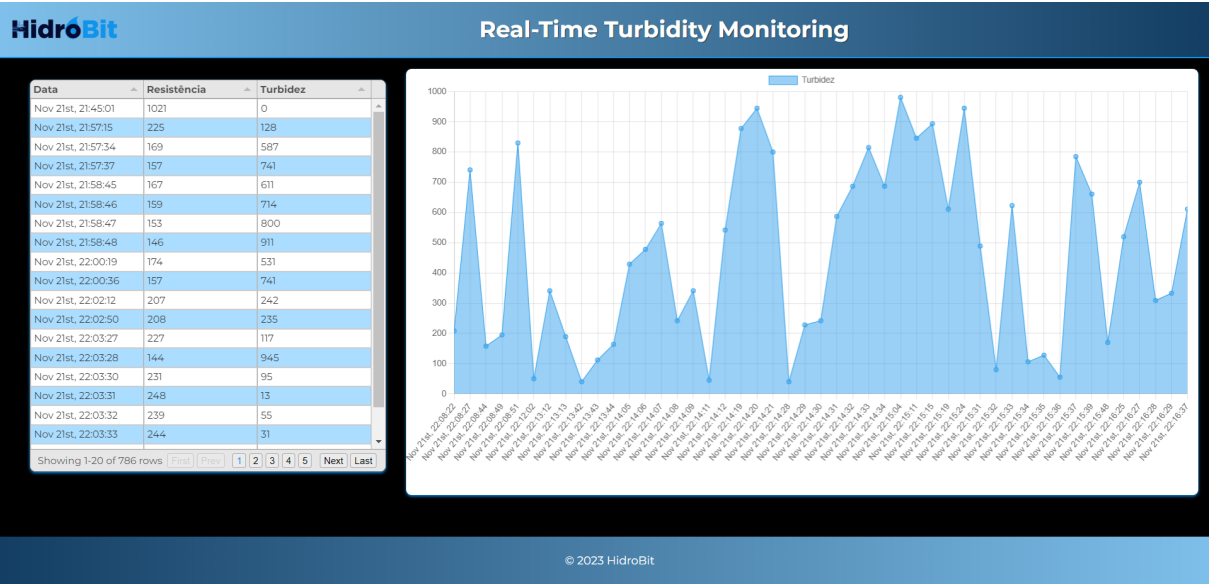


Figura 5 – Gráfico e tabelas atualizadas em tempo real

Fonte: Próprio Autor

## 6 Resultados

As medições necessárias para a calibração do sistema foram realizadas ao longo de três dias, especificamente no período da tarde. Para cada amostra analisada pelo sistema, este era desligado a fim de evitar interferências causadas pela luz externa à caixa. As amostras com turbidez de 100 NTU e 800 NTU foram medidas em seus recipientes originais e lacrados, assegurando assim a integridade das mesmas. Quanto à amostra de 0 NTU, esta foi obtida diretamente no laboratório da universidade, sendo purificada no dia de cada medição para prevenir contaminações. A amostra foi acondicionada em uma cubeta do mesmo tamanho daquelas usadas para as amostras lacradas. Adicionalmente, era prática comum a limpeza externa das cubetas antes de cada série de medições, assegurando assim a precisão e confiabilidade dos resultados obtidos.

A tabela 2 ilustra os resultados alcançados durante o processo de medição. Observa-se que, conforme indicado pelos dados, as medidas de leituras dos dois últimos dias foram superiores em comparação ao primeiro. Essa variação pode ser atribuída às condições climáticas, uma vez que os dias em questão foram mais claros e quentes, em contraste com o primeiro dia, que se caracterizou por ser nublado. Embora o sistema tenha sido desenvolvido para minimizar a influência da luz externa, suspeita-se que o sensor LDR possa ter captado luz através de alguma abertura na caixa, como, por exemplo, a saída do cabo USB do Arduino.

Tabela 2 – Resultados de medição com o protótipo do sistema

Dia	Leitura LDR	Lux	Turbidez (NTU)
1	730	27.18	0
	689	35.57	100
	580	68.03	800
2	738	25.73	0
	688	35.80	100
	584	66.51	800
3	738	25.73	0
	685	36.48	100
	582	67.26	800

Com base nas três repetições de cada amostra, foi calculada a média aritmética, resultando em uma única leitura para cada valor de NTU, tabela 3.

Tabela 3 – Media aritmética das medições em lux

Amostra (NTU)	M1 (Lux)	M2 (Lux)	M3 (Lux)	Média (Lux)
0	27.18	25.73	25.73	26.21
100	35.57	35.80	36.48	35.95
800	68.03	66.51	67.26	67.26

M1, M2, M3 representam na tabela as medições feitas

As médias das leituras em lux de cada dia foram utilizadas como dados de entrada para a proposta de regressão linear simples, resultando na obtenção de uma função que descreve a relação entre a leitura do LDR e a turbidez. Essa função foi incorporada ao código do protótipo do sistema, possibilitando que o sistema realize sozinho a medição da turbidez. Os parâmetros obtidos na regressão foram aproximadamente:

- Coeficiente Angular: 20.190;
- Coeficiente Linear: -571.009;
- Coeficiente de Determinação ( $R^2$ ): 0.987.

A aplicabilidade da regressão linear, neste contexto, enfrenta limitações, principalmente devido à quantidade restrita de pontos de dados disponíveis para a regressão, com apenas três pontos sendo utilizados. Esta limitação torna a regressão potencialmente menos confiável, especialmente considerando o amplo intervalo existente entre as amostras de 100 NTU e 800 NTU. Além disso, a premissa de uma relação linear entre as variáveis é questionável, dada a presença do mencionado intervalo. Este intervalo, se preenchido com mais dados, poderia revelar diferentes tendências entre os pontos, desafiando a suposição de linearidade inicialmente adotada graças aos resultados obtidos com as três amostras.

Em relação a plataforma HidroBit é possível verificar a turbidez medida em tempo real, permitindo a observação de possíveis variações ao longo de dias, semanas, meses ou anos. Essa funcionalidade possibilita o zoom no gráfico para a análise de períodos específicos da série temporal. Ao passar o mouse sobre um ponto no gráfico, o usuário pode visualizar exatamente a data, a hora e o valor de turbidez medido, como demonstrado na Figura 6.

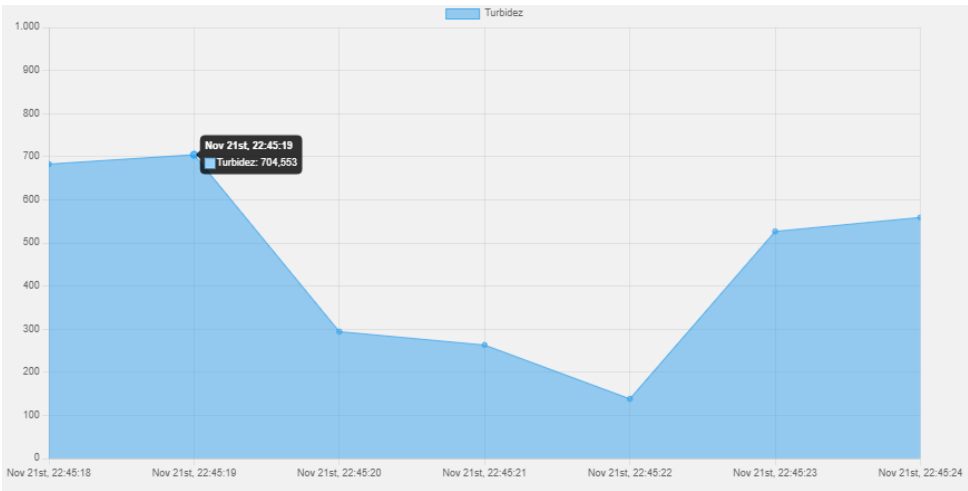


Figura 6 – Gráfico com zoom, mostrando data, hora e turbidez na HidroBit

Fonte: Próprio Autor

Além disso, a plataforma apresenta uma tabela que exibe a data e a hora, o valor de resistência do LDR e o valor de turbidez correspondente, facilitando a compreensão da relação entre o valor medido pelo LDR e a turbidez, como mostrado na Figura 7. A utilização de um banco de dados para o armazenamento dos dados possibilita a visualização e análise de dados históricos, oferecendo a oportunidade de criar *insights* relevantes a partir dessas informações.

Data	Resistência	Turbidez
Nov 21st, 21:45:01	1021	0
Nov 21st, 21:57:15	225	128
Nov 21st, 21:57:34	169	587
Nov 21st, 21:57:37	157	741
Nov 21st, 21:58:45	167	611
Nov 21st, 21:58:46	159	714
Nov 21st, 21:58:47	153	800
Nov 21st, 21:58:48	146	911
Nov 21st, 22:00:19	174	531
Nov 21st, 22:00:36	157	741
Nov 21st, 22:02:12	207	242
Nov 21st, 22:02:50	208	235
Nov 21st, 22:03:27	227	117
Nov 21st, 22:03:28	144	945
Nov 21st, 22:03:30	231	95
Nov 21st, 22:03:31	248	13
Nov 21st, 22:03:32	239	55
Nov 21st, 22:03:33	244	31

Showing 1-20 of 786 rows

FirstPrev12345NextLast

Figura 7 – Tabela com turbidez, data, hora e resistência na HidroBit

Fonte: Próprio Autor

## 7 Conclusão

Durante o transcorrer deste projeto, foi proposto e desenvolvido de um protótipo de sistema de baixo custo de um turbímetro, fundamentado em Arduino, e integrado a uma plataforma de monitoramento em tempo real. Demonstra-se, neste contexto, a viabilidade da concepção deste sistema a um custo significativamente mais acessível em comparação aos equipamentos disponíveis no mercado. Este cenário proporciona uma abertura para a produção desses dispositivos, não apenas para aplicação educacional, mas também para contextos mais amplos, tais como análises nas tubulações de empresas de saneamento.

Considerando que o coeficiente de determinação  $R^2$  se aproximou de 1, espera-se que o modelo esteja se ajustando aos dados disponíveis. Entretanto, devido à reduzida quantidade de pontos, é essencial ter presente que o  $R^2$  poderá não fornecer uma representação precisa do desempenho do modelo. Dado a isso, é imprescindível realizar novas calibrações com uma gama maior de amostras no futuro.

Por fim, em uma era onde é impossível ignorar a geração e as análises de dados, uma plataforma como A HidroBit assume uma relevância extrema e deve ser aprimorada. A capacidade de analisar dados históricos representa um grande diferencial em relação aos turbidímetros comuns, que apenas armazenam dados da última medição. Para a monitoração de uma rede de tubulação de água ou de um rio, por exemplo, ter os dados das tendências de turbidez e gerar visualizações acerca disso é uma vantagem significativa.

## 8 Trabalhos Futuros

É visto como possibilidades para trabalhos futuros os seguintes experimentos e implementações:

- Realização de uma nova calibração no sistema de turbidímetro com uma faixa maior de amostras padrão, a fim de melhorar o ajuste do modelo;
- Condução de um estudo comparativo entre a eficácia da luz visível e do infravermelho como fontes emissoras de luz, visando identificar diferenças e possíveis vantagens em suas aplicações;
- Expansão dos recursos disponíveis e dos dados representados na plataforma HidroBit, visando aprimorar sua funcionalidade e abrangência;
- Desenvolvimento de uma segunda versão do protótipo do sistema, que não se limitará ao uso em ambientes de laboratório, mas será adaptável também para cenários de tubulação de água. Este protótipo aprimorado, conforme pode ser visto na Figura 8, visa oferecer uma aplicação mais versátil e prática, adequando-se às necessidades específicas de monitoramento e manutenção em sistemas de tubulação.

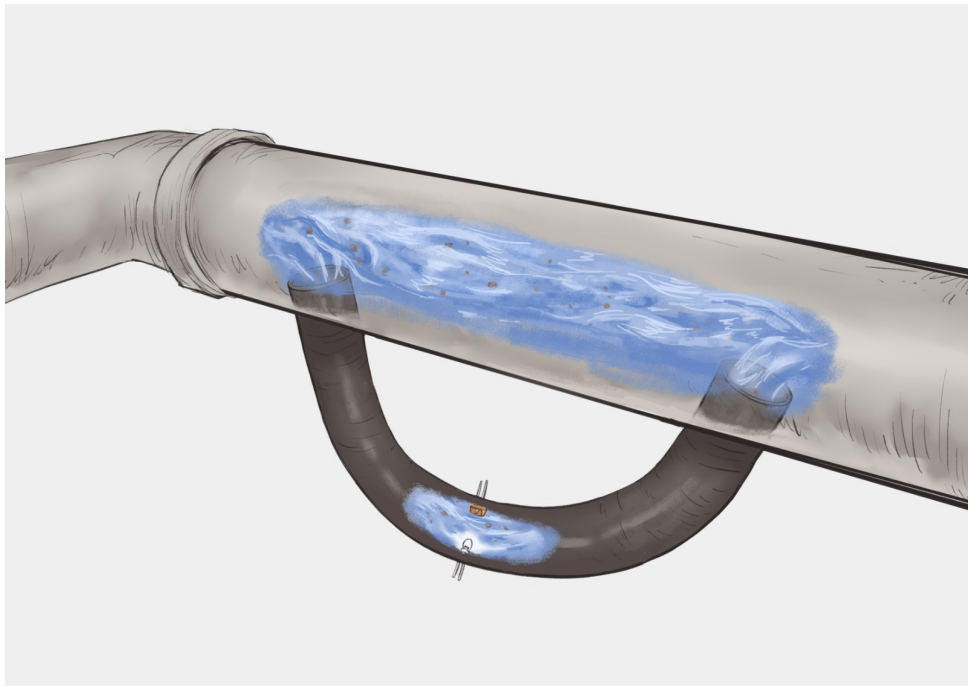


Figura 8 – Segunda versão do protótipo a ser implementado

Fonte: Próprio Autor

# Referências

APHA, A. Standard methods for the examination of water and wastewater, vol. 21. **American public health association/American water works association/water environment federation, Washington DC**, p. 258–259, 2005.

BRAGA, B. et al. **Introdução à engenharia ambiental. Vários autores**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

BULLOUGH, J. Lighting answers: LED lighting systems. **National Lighting Product Information Program, Lighting Research Center**, Rensselaer Polytechnic Institute, v. 7, n. 3, 2003.

CARDOSO, T. G. Sensor de turbidez para análise de amostras de água, 2011.

CARVALHO BUENO, R. de et al. DEVELOPMENT OF A LOW-COST TURBIDITY PROBE USING ARDUINO, 2019.

CORREIA, A. et al. Análise da turbidez da água em diferentes estados de tratamento. **8º Encontro Regional de Matemática Aplicada e Computacional**, v. 10, 2008.

DE, E. D. O. E. S. et al. Relatório de Monitoramento Hidrico, 2020.

DINH, T.; KIM, Y.; LEE, H. A location-based interactive model for Internet of Things and cloud (IoT-cloud). In: IEEE. 2016 Eighth International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN). 2016. P. 444–447.

ERYILMAZ, S.; DENIZ, G. Effect of Tinkercad on Students, Computational Thinking Skills and Perceptions: A Case of Ankara Province. **Turkish Online Journal of Educational Technology - TOJET**, ERIC, v. 20, n. 1, p. 25–38, 2021.

EVANS, M.; NOBLE, J.; HOCHENBAUM, J. **Arduino em ação**. Novatec Editora, 2013.

FAGUNDES, F. H. **Estudo do reaproveitamento da água de sensores de turbidez**. 2016. Tese (Doutorado) – Universidade Santa Cecília.

FRANCO, E. S. Avaliação da influência dos coagulantes sulfato de alumínio e cloreto férrico na remoção de turbidez e cor da água bruta e sua relação com sólidos na geração de lodo em estações de tratamento de água. PROÁGUA, Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós Graduação, Universidade Federal de Ouro Preto, 2009.

GODOY, A. L. C. d. Uso do sensor de alta qualidade conectado ao micro controlador Arduino para análise de fluido. UniCEUB, 2019.

GUBBI, J. et al. Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. **Future Generation Computer Systems**, Elsevier, v. 29, n. 7, p. 1645–1660, 2013.



- JÚNIOR, J. J. A. M.; JUNIOR, S. L. S. Ldr e sensores de luz ambiente: Funcionamento e aplicações. **Semana de Eletrônica e Automação, Paraná**, 2013.
- KELLEY, C. D. et al. An affordable open-source turbidimeter. **Sensors**, MDPI, v. 14, n. 4, p. 7142–7155, 2014.
- LOCH, J.; BRENTANO, D. M. Influência da precipitação na turbidez das águas dos rios Cubatão do Sul e Vargem do Braço/SC: Uma análise para gestão de Estação de Tratamento de Água. **Geosul**, v. 35, n. 76, p. 277–297, 2020.
- MACHADO, D. R. et al. Desenvolvimento de um protótipo de Luxímetro utilizando como elemento sensor um resistor dependente de luz (LDR). In: CESUCA, Edição n. 9. ANAIS da IX Mostra de Iniciação Científica do CESUCA - 2015. 2015. v. 9. Disponível em: <<https://ojs.cesuca.edu.br/index.php/mostrac/article/view/990>>.
- MADAKAM, S. et al. Internet of Things (IoT): A literature review. **Journal of Computer and Communications**, Scientific Research Publishing, v. 3, n. 05, p. 164, 2015.
- MARTINS, G. S. Construção de um turbidímetro de baixo custo para controle de qualidade de efluentes industriais, 2012.
- MCROBERTS, M. **Arduino básico**. Novatec Editora, 2018.
- METZGER, M. et al. Low-cost GRIN-Lens-based nephelometric turbidity sensing in the range of 0.1–1000 NTU. **Sensors**, v. 18, n. 4, p. 1115, 2018.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria GM/MS nº 888**. 2021. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>. Publicado em: 07/05/2021 | Edição: 85 | Seção: 1 | Página: 127.
- MOHAPATRA, B. N. et al. Easy performance based learning of arduino and sensors through Tinkercad. **International Journal of Open Information Technologies**, v. 8, n. 10, p. 73–76, 2020.
- NAOUM, P. F. Métodos de avaliação laboratorial. **Academia de Ciência e Tecnologia. São José do Rio Preto, SP**, 2010.
- OLIVEIRA, G. H. B. de et al. Protótipo de baixo custo utilizando plataforma arduino para análise de turbidez e condutividade da água. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 7, n. 4, p. 13318–01, 2021.
- PÁDUA, V. d.; BERNARDO, L. Comparação entre Turbidez e distribuição de tamanhos de partículas. In: XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2001.
- PATSKO, L. F. Tutorial: Aplicações, Funcionamento e Utilização de Sensores. **Maxwell Bohr: Instrumentação eletrônica**, p. 84, 2006.
- PORTARIA, N. 2.914, DE 12 DE DEZEMBRO DE 2011. **Dispõe sobre os**, 2011.

REIS, M. S. et al. Desenvolvimento De Um Sensor De Baixo Custo Para Monitoramento Da Turbidez Da Água. **Anais Semana Nacional de Ciência e Tecnologia (SNCT)**, v. 2, n. 1, p. 628–632, 2020.

ROBOCORE. **Pocket Kit para Arduino UNO R3**. 16 nov. 2023. Disponível em: <<https://www.robocore.net/kit-arduino/arduino-pocket-kit/placa-uno-r3>>.

SILVA, S. T. et al. Effect of light and natural ventilation systems on the growth parameters and carvacrol content in the in vitro cultures of *Plectranthus amboinicus* (Lour.) Spreng. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)**, Springer, v. 129, p. 501–510, 2017.

THONGJAN, N.; SIRISATHITKUL, C. Accuracy and precision of smartphones in measurements of illuminance and liquid turbidity. **Revista Cubana de Física**, v. 37, n. 2, p. 131–134, 2020.

ZANG, Z. et al. A novel low-cost turbidity sensor for in-situ extraction in TCM using spectral components of transmitted and scattered light. **Measurement**, Elsevier, v. 160, p. 107838, 2020.

ZHU, C. et al. Green internet of things for smart world. **IEEE access**, v. 3, p. 2151–2162, 2015.