

---

**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E INOVAÇÃO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**  
**MESTRADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**  
*MODALIDADE PROFISSIONAL*

**INSTRUMENTAÇÃO HIDROLOGICA DE BAIXO CUSTO APLICADA À GESTÃO**  
**E AO MONITORAMENTO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS**

**MAXUEL BERNADES DONATO**

**MACAÉ-RJ**  
**2023**

MAXUEL BERNADES DONATO

**INSTRUMENTAÇÃO HIDROLOGICA DE BAIXO CUSTO APLICADA À GESTÃO  
E AO MONITORAMENTO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental Profissional do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, área de concentração Sustentabilidade Regional, linha de pesquisa Avaliação, Gestão e Conservação Ambiental.

Orientador: Dr. Luís Felipe Umbelino dos Santos  
Coorientador: Dr. Tiago Gomes Barros de Carvalho

Dissertação intitulada **INSTRUMENTAÇÃO HIDROLOGICA DE BAIXO CUSTO APLICADA À GESTÃO E AO MONITORAMENTO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS**, elaborado por Maxuel Bernades Donato e apresentada, publicamente perante a Banca Examinadora, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental do Instituto Federal Fluminense - IFFluminense, na área concentração Sustentabilidade Regional, linha de pesquisa Avaliação, Gestão e Conservação Ambiental.

Aprovado em: 25 de abril de 2023

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** LUIS FELIPE UMBELINO DOS SANTOS  
Data: 10/08/2023 07:45:32-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Luís Felipe Umbelino dos Santos, Doutor em Ecologia / Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (PPEA/IFF)



---

Prof. Dr. Tiago Gomes Barroso Carvalho

Doutor em Engenharia Civil – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro.

Coorientador

**Gabriel de Pinna Mendez** Assinado de forma digital por Gabriel de Pinna Mendez  
Dados: 2023.08.14 21:51:20 -03'00'

---

Dr. Gabriel de Pinna Mendez

Doutor em Engenharia Civil - Universidade Federal do Rio de Janeiro

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** RENATO GOMES SOBRAL BARCELLOS  
Data: 14/08/2023 22:31:52-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Dr. Renato Gomes Sobral Barcellos

Doutor em Geociências - Universidade Federal Fluminense

**FICHA CATALOGRÁFICA**

## Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

D677i Donato, Maxuel Bernades, 1980-.  
Instrumentação hidrológica de baixo custo aplicada à gestão e ao monitoramento de bacias hidrográficas / Maxuel Bernades Donato. — Macaé, RJ, 2023.  
xiii, 59 p.: il. color.

Orientador: Luís Felipe Umbelino dos Santos, 1978-.  
Coorientador: Tiago Gomes Barroso Carvalho, 1979-.  
Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Macaé, RJ, 2023.  
Inclui referências.  
Área de concentração: Sustentabilidade Regional.  
Linha de Pesquisa: Avaliação, Gestão e Conservação Ambiental.

1. Bacias hidrográficas. 2. Desenvolvimento de recursos hídricos. 3. Monitorização ambiental - Brasil. 4. Hidrologia. 5. Meteorologia. I. Santos, Luís Felipe Umbelino dos, 1978-, orient. II. Carvalho, Tiago Gomes Barroso, 1979-, coorient. III. Título.

CDD 551.48

(23. ed.)

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por ser essencial em minha vida, me dar forças e iluminar meu caminho durante essa jornada.

Ao meu orientador e amigo, professor Luís Felipe, pelo suporte a este trabalho e valiosa amizade; agradeço ainda pelo incentivo e dedicação contínua.

Aos membros das bancas examinadoras pelo interesse, disponibilidade e colaboração a este trabalho.

A minha família que sempre me apoiou em tudo quanto me proponho a fazer.

Ao professor Tiago Gomes que tem proporcionado amplo conhecimento e incentivo para a montagem dos equipamentos que proporcionarão o resultado esperado na pesquisa e em minha carreira profissional.

Aos diversos professores do Instituto Federal Fluminense pelo apoio e ensino.

À todas as pessoas que diretamente ou indiretamente contribuíram para realização deste trabalho.

Compartilho a frase que muito me impulsionou durante a pesquisa:

“A inovação não é apenas a capacidade de criação de um **novo** produto ou processo, mas é se <sup>1</sup>fazer diferente algo que já existe, podendo ter menor custo, melhor desempenho e utilização de materiais e insumos em sua produção; **isso também é inovação**” (Gabriel de Pinna Mendez, 2023).

---

<sup>1</sup> “Fazer diferente” em obediência e observância as Leis de direitos autorais e patentes.

*“Bendito seja o Senhor, a minha Rocha, que treina as minhas mãos para a guerra e os meus dedos para a batalha. Ele é o meu aliado fiel, a minha fortaleza, a minha torre de proteção e o meu libertador, é o meu escudo, aquele em quem me refúgio”*

*Salmos 144:1-2*

**LISTA DE FIGURAS****ARTIGO CIENTÍFICO I**

Figura 1 – Piezômetro de tubo aberto.	17
Figura 2 – Esquema de um piezômetro hidráulico	18
Figura 3 – Instalação típica de um piezômetro de corda vibrante	19
Figura 4 – Esquema de um piezômetro pneumático	20
Figura 5 – Arduino	22
Figura 6 – Módulo adaptador para cartão SD	22
Figura 7 – Módulo RTC	23
Figura 8 – Bateria 12v 7A Selada	24
Figura 9 – Bateria de li íon	24
Figura 10 – Sensor Ultrassônico a prova d'água	25
Figura 11 – Protótipo 1.0 - Medidor de nível ultrassônico montado	26
Figura 12 – Transmissor de nível hidrostático, recomendações de instalação e uso do Fabricante	27
Figura 13 – Piezômetro de nível hidrostático, montagem eletrônica e testes de laboratório	28
Figura 14 – Testes em laboratório Piezômetro de nível hidrostático	28
Figura 15 – Localização do poço de inspeção para instalação dos equipamentos	29
Figura 16 – Protótipo 1.0 – Sensor Ultrassônico a prova d'água – AJ-SR04M	30
Figura 17 – Protótipo 1.0 – Sensor Ultrassônico a prova d'água em utilização no campo	30
Figura 18 – Protótipo 1.1 – Sensor de nível hidrostático montado	31
Figura 19 – Protótipo 1.1 – Sensor hidrostático em utilização no campo	32
Figura 20 – Protótipo 1.1 – Medição e calibração com testes em laboratório	33

**ARTIGO CIENTÍFICO II**

Figura 1 – Placa de desenvolvimento ESP-WROOM-32 ESP32 ESP-32S 2,4 GHz modo duplo WiFi + processador microcontrolador Bluetooth Dual Core integrado com antena RF AMP filtro AP STA	42
Figura 2 – Módulo adaptador para cartão SD	42
Figura 3 – Módulo RTC	43
Figura 4 – Bateria 12v 7A Selada	44
Figura 5 – Anemômetro	44
Figura 6 – Pluviômetro de Bâscula	45
Figura 7 – Pluviômetro de bscula e sensores de temperatura e umidade da Estação Meteorológica	46
Figura 8 – Proteo captao pluviométrica da Estação Meteorológica	46
Figura 9 – Conjunto de medio de temperatura e umidade do ar.	47
Figura 10 – Montagem protótipo 03 - Serralheria da estrutura da Estação meteorológica e acoplamento dos sensores e componentes	48
Figura 11 – Evoluo da estrutura da Estação meteorológica e componentes	48
Figura 12 – Aprimoramento da montagem eletrônica do protótipo-1, executado com dois microcontroladores e bateria 12V de 31000mah.	49
Figura 13 – Montagem circuito painel solar da Estação Meteorológica	49
Figura 14 – Microcontrolador e Placa acoplável Esp 32 da Estação Meteorológica	50
Figura 15 – Protótipo-4 Conjunto do equipamento montado	50



**LISTA DE QUADROS****ARTIGO CIENTÍFICO I**

Quadro 1 - Resultados do modelo 1.0	31
Quadro 2 - Resultados do modelo 1.1	32
Quadro 3 - Dispositivos utilizados para a construção protótipo piezômetro de nível hidrostático	35

**ARTIGO CIENTÍFICO II**

Quadro 1 - Dispositivos utilizados para a construção da estação meteorológica e seus custos aproximados.	51
--	----

**LISTA DE GRÁFICOS****ARTIGO CIENTÍFICO II**

Gráfico 1 – Medição chuva mm/hora	52
Gráfico 2 – Medição Temperatura e Umidade	53
Gráfico 3 – Medição Vento e Velocidade do vento	53
Gráfico 4 – Direção Vento em Graus	53

**APÊNDICE – 1 – Programação**

Estrutura de programação de comandos executados na programação do arduíno.	57
--	----

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA – Agência Nacional de Águas

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

GPS – Sistema de Posicionamento Global

GSM – *Global System for Mobile Communications*

HTTP – Hypertext Transfer Protocol

IDE – Integrated Development Environment

IDH – Índice de Desenvolvimento Humano

IoT – Internet das Coisas

MAH – Miliampere-hora

MM – Milímetro

NE – Noroeste

NO – Noroeste

O – Oeste

PVC – Policloreto de Vinilo

RHN – Rede Hidrometeorológica Nacional

RTC – *Real Time Clock*

S – Sul

SD – *Secure Digital*

SE – Sudeste

SNIRH – Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos

SO – Sudoeste

SRAM – Static Random Access Memory

UTM – Universal Transversa de Mercator

## INSTRUMENTAÇÃO HIDROLOGICA DE BAIXO CUSTO APLICADA À GESTÃO E AO MONITORAMENTO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS

### RESUMO

A compreensão dos processos hidrológicos é de suma importância para que se faça planejamento ambiental, uso adequado do solo, controle de cheias, obras hidráulicas, controle de erosão, entre outros fatores. O presente estudo visa a construção de dois protótipos: um piezômetro automatizado para o monitoramento de nível em superfície freática e superficial, e uma estação meteorológica com multiparâmetros de medição, estes, desenvolvidos com baixo custo de confecção. Ambos foram desenvolvidos pretendendo ao uso do manejo, a gestão e o monitoramento de corpos hídricos e conseqüentemente de bacias hidrográficas, podendo também ter aplicação em áreas da: agricultura, barragens, sistemas de irrigação e captação de águas, entre outros. Os protótipos foram construídos por um conjunto de módulos de sensores através do uso da plataforma de prototipagem Arduino e seus acessórios, sendo compatível com a realidade dos corpos hídricos. Os objetivos, metodologias e resultados foram descritos individualmente, sendo o primeiro artigo destinado a construção do piezômetro para o monitoramento de nível em superfície e o segundo artigo destinado a construção da estação meteorológica multiparâmetros de medição. A metodologia dos protótipos inicialmente contou com um levantamento prévio nos principais bancos de dados, tais como: CAPES/MEC, SciELO e Science.gov. Levou-se em consideração os critérios mais relevantes: gestão, monitoramento remoto de baixo custo, prototipagem arduino, estações meteorológicas e protótipo. Após esta fase, buscou-se realizar a montagem dos equipamentos a partir da pesquisa dos componentes necessários ao desenvolvimento inicial dos protótipos que, durante os testes, foram sofrendo diversas transformações e benefícios. Os resultados obtidos não foram satisfatórios diante do baixo número de publicações disponíveis sobre a temática nos últimos dez anos para os piezômetros automatizados para o monitoramento de nível em superfície. Os trabalhos sobre estações meteorológicas foram mais numerosos na literatura, contudo, apresentaram uma maior diversificação dos sensores utilizados que visavam atender a diferentes finalidades. Os resultados do artigo 1 indicaram que o medidor de nível hidrostático, acoplado ao microcontrolador possui grande eficiência quando a exigência de precisão for de 1 (um) centímetro no intervalo de tempo mínimo de 3 (três) segundos, possuindo capacidade de medição satisfatória. As medições foram variando de acordo com as condições expostas nos testes. Para trabalhos futuros sugere-se a implementação de módulos para transmissão automatizada, com envio de dados para o servidor para o acompanhamento em tempo real dos dados medidos. Os resultados do artigo 2 indicaram que a estação meteorológica apresentou funcionamento com bons resultados em testes de laboratório onde foram feitos com pluviômetro em Escala 0 a 150 mm e termo anemômetro Digital Portátil INS-1382. As medições foram variando de acordo com as condições expostas nos testes. Os dois protótipos apresentaram baixo custo quando comparados com outros aparelhos amplamente comercializados.

**Palavras-chave:** Arduino. Baixo Custo. Monitoramento. Bacias Hidrográficas. Processos Hidrológicos.

## LOW COST HYDROLOGICAL INSTRUMENTATION APPLIED TO THE MANAGEMENT AND MONITORING OF WATER BASINS

### ABSTRACT

Understanding hydrological processes is of paramount importance for environmental planning, proper soil use, flood control, hydraulic works, erosion control, among other factors. The present study aims at the construction of two prototypes: an automated piezometer for monitoring the level in groundwater and surface surfaces, and a meteorological station with multiparameter measurement, these developed with low manufacturing cost. Both were developed with a view to handling, managing and monitoring water bodies and, consequently, watersheds, and may also be applied in areas such as: agriculture, dams, irrigation systems and water catchment, among others. The prototypes were built by a set of sensor modules using the Arduino prototyping platform and its accessories, being compatible with the reality of water bodies. The objectives, methodologies and results were described individually, with the first article dedicated to the construction of the piezometer for surface level monitoring and the second article dedicated to the construction of the multiparameter measurement meteorological station. The methodology of the prototypes initially relied on a previous survey in the main databases, such as: CAPES/MEC, SciELO and Science.gov. The most relevant criteria were taken into account: management, low-cost remote monitoring, arduino prototyping, meteorological stations and prototype. After this phase, we tried to assemble the equipment based on the research of the components necessary for the initial development of the prototypes that, during the tests, underwent several transformations and benefits. The results obtained were not satisfactory due to the low number of publications available on the subject in the last ten years for automated piezometers for surface level monitoring. Works on meteorological stations were more numerous in the literature, however, they presented a greater diversity of sensors used that aimed to meet different purposes. The results of article 1 indicated that the hydrostatic level meter, coupled to the microcontroller, has great efficiency when the precision requirement is 1 (one) centimeter in the minimum time interval of 3 (three) seconds, having satisfactory measurement capacity. The measurements varied according to the conditions exposed in the tests. For future work, it is suggested the implementation of modules for automated transmission, sending data to the server for real-time monitoring of the measured data. The results of article 2 indicated that the meteorological station operated with good results in laboratory tests where they were performed with a pluviometer in Scale 0 to 150 mm and anemometer Digital Portable INS-1382. The measurements varied according to the conditions exposed in the tests. The two prototypes had a low cost when compared to other widely sold devices.

**Keywords:** Arduino. Low cost. Monitoring. Watersheds. Hydrological Processes.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	VII
LISTA DE QUADROS	VIII
LISTA DE GRÁFICOS	VIII
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	IX
RESUMO	X
ABSTRACT	XI
SUMÁRIO	XII
APRESENTAÇÃO	11
ARTIGO CIENTÍFICO I	13
Introdução	14
Aspectos gerais dos Piezômetros	15
Medidor de nível	21
Materiais e métodos	21
Medidor de nível com Arduíno	21
Descrição do protótipo	21
Medidor de nível com Arduino	21
Adaptador para cartão SD	22
Módulo Real Time Clock RTC	23
Bateria	23
Sensor ultrassônico	25
Sonda de profundidade de nível hidrostático	26
Montagem do equipamento	27
Medição e calibração de campo	28
Calibração e aferição - medidor de nível usando sensor de ultrassônico	29
Calibração e aferição - medidor de nível usando transmissor de nível hidrostático	31
Medição e calibração de laboratório	33
Comentário dos testes	34
Considerações finais	35
Referências	36
ARTIGO CIENTÍFICO II	38
Introdução	39

Materiais e Métodos - Estação Meteorológica multiparâmetros com Arduino	41
Principais Componentes	41
Adaptador para cartão SD	42
Módulo Real Time Clock RTC	42
Bateria	43
Anemômetro	44
Pluviômetro de Bâscula	46
Temperatura	46
Montagem do equipamento	47
Medição e testes	52
Discussões	54
Considerações Finais	54
Referências	55
Apêndice -1 – Programação	57

## APRESENTAÇÃO

As mudanças climáticas em nível global são um desafio permanente para os gestores ambientais, pois as experiências passadas já não são suficientes para subsidiar a gestão hídrica pensando no futuro. Apesar de todo avanço nas ciências e na promoção de conhecimento sobre o clima e a água, ainda existem muitas lacunas que precisam ser superadas (Dias *et al.* 2023). Possivelmente as lacunas aumentam na medida que o poder de previsibilidade da dinâmica ambiental atual tem sido reduzido, já que os cenários são dissimilares em relação aos modelos propostos.

De acordo com o relatório do IPCC (2019), ações no curto prazo precisam ser realizadas para enfrentar os eventos de chuvas fortes, que resultam em inundações e deslizamentos de terra que devem ser intensificados em magnitude e frequência, apresentando riscos à vida e à infraestrutura. A sociedade global precisa realizar previsões sazonais e sistemas de alerta precoce para eventos de clima e tempo extremos, pois estes são críticos para proteger vidas, melhorar a gestão e a redução de riscos de desastres, bem como garantir a segurança alimentar e monitoramento da biodiversidade.

Segundo os cientistas representantes dos países membros da ONU e da Organização Mundial de Meteorologia, há altos retornos de investimentos em capacidades humanas e institucionais que incluem acesso a sistemas de observação e alerta precoce e outros serviços derivados de dados e sistemas de monitoramento hidrometeorológico in-situ e baseados em sensoriamento remoto, observação em campo, inventário e pesquisa e uso ampliado de tecnologias digitais.

A responsabilidade pela Rede Hidrometeorológica no Brasil é da Agência Nacional de Águas (ANA). A agência tem a responsabilidade de implementar e coordenar a gestão compartilhada e integrada dos recursos hídricos, além de regulamentar o acesso à água, promovendo assim, o uso sustentável em benefício das atuais e futuras gerações. Portanto, pode-se afirmar que a ANA possui a função de orientar os concessionários e autorizados para geração de energia hidrelétrica sobre os procedimentos para a instalação, operação e manutenção de estações hidrométricas objetivando o monitoramento pluviométrico, e de qualidade da água associado a aproveitamentos hidrelétricos (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2015).

Segundo a Resolução Conjunta ANA/ANEEL nº 03/2010, é destacado em seu Artigo 5º que todas as estações hidrométricas com monitoramento pluviométrico, limnimétrico e fluviométrico que são associadas ao aproveitamento hidrelétrico deverão

ser automatizadas. Portanto, essa Resolução visa auxiliar os agentes do setor elétrico em relação a realização da coleta, tratamento, armazenamento e a forma de envio dos dados hidrométricos para o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), permitindo a obtenção dos dados em tempo real. Esse documento, portanto, tem a função de reforçar a necessidade do monitoramento e a emergência desse tipo de serviço. Ainda é possível afirmar que a automatização da coleta dos dados possui vantagens, como por exemplo, permitir o monitoramento em áreas de difícil acesso, possibilitando o acompanhamento em tempo real do volume de reservatórios, de situações críticas e de alertas (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2011).

De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (2021), o Brasil vive um cenário hidrológico severo com as vazões mais baixas desde a década de 1930, levando a uma situação cada vez mais preocupante, pois a água armazenada é utilizada para produção de energia, agronegócio, abastecimento urbano e industrial, entre outros setores. Nesse contexto, são crescentes os investimentos em monitoramento de dados hidrográficos para melhor gerenciar o uso desses recursos. Contudo, a tecnologia disponível na maioria das vezes torna-se cara, fato que torna a implementação desses sistemas inviáveis, impedindo que haja um monitoramento efetivo de determinada área.

Partindo dessa premissa, o tema desta dissertação de mestrado profissional está associado à criação de protótipos, ou seja, um modelo construído para testar um produto ou um serviço, resultado das pesquisas iniciais relativas a uma ideia da falta de instrumentos hidrológicos de baixo custo, que serve de base para que novas mudanças e implementações dessa ideia possam ser realizadas.

De forma a contribuir com esta problemática da falta de dados de hidrologia, a presente pesquisa de mestrado tem por finalidade contribuir com este estudo na área de instrumentação hidrológica visando construir dois protótipos de baixo custo a serem testados no ambiente para o monitoramento hidrológico de bacias hidrográficas ou áreas planas sem conformação de limites físicos.

A estrutura da dissertação foi dividida em 2 artigos técnicos. O primeiro artigo trata-se de um protótipo de um piezômetro para o monitoramento de nível em superfície laminar, que pode abranger a avaliação da superfície freática ou superfícies de corpos hídricos em geral. O segundo capítulo tem por objetivo construir um protótipo de uma estação meteorológica com multiparâmetros de medição.



## ARTIGO CIENTÍFICO I

### PROTÓTIPO DE PIEZÔMETRO PARA O MONITORAMENTO DE NÍVEL EM CORPOS HÍDRICOS UTILIZANDO SISTEMA REMOTO DE BAIXO CUSTO

*Maxuel Bernades Donato<sup>2</sup>*

*Luís Felipe Umbelino dos Santos<sup>3</sup>*

*Tiago Gomes Barros de Carvalho<sup>4</sup>*

ISBN: 978-65-5379-255-5

DOI: 10.47573/aya.5379.2.186.10

Link do Livro: <https://ayaeditora.com.br/Livro/25361>

Tópicos Especiais em Engenharia: inovações e avanços tecnológicos - Vol. 6 – Pág. 128 á 141.

**Resumo** - O presente trabalho visa a construção de um protótipo de piezômetro com baixo custo para o monitoramento de nível em superfície freática e superficial, visando o manejo, gestão e o monitoramento de corpos hídricos e bacias hidrográficas associadas. Esse projeto propõe um módulo de sensores através do uso da plataforma de prototipagem Arduino e seus acessórios, sendo compatível com a realidade dos corpos hídricos. Foi construído e testado dois protótipos com sensores distintos, o primeiro protótipo (V.1.0), com sensor ultrassônico apresentando inconsistência na medição com variações e oscilações em uma mesma lâmina de água o segundo protótipo, com sensor de nível hidrostático (V.1.1), apresentou resultados muito satisfatórios quando a exigência de precisão for de 1 (um) centímetro no intervalo de tempo mínimo de 3 (três) segundos, podendo ser utilizado como equipamento no monitoramento de corpos hídricos e bacias hidrográficas. Para calibração e verificação dos equipamentos utilizou-se, testes de laboratório e simulação das condições de uma bacia hidrográfica onde foram testados em um poço de inspeção com diâmetro de 100mm para medição dos níveis freáticos que possuam comunicação piezométrica com a lâmina de água subterrânea e superficial. A gestão e o monitoramento dos recursos hídricos é a ferramenta mais importante onde proporciona maior eficiência no gerenciamento e nas tomadas de decisões envoltórias de uma bacia hidrográfica.

**Palavras-chave:** Gestão. Monitoramento. Prototipagem Arduino.

---

<sup>2</sup> Mestrando no Programa de Pós-Graduação (PPEIA) em Engenharia Ambiental Profissional Instituto Federal Fluminense, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, [maxuel.engenharia@gmail.com](mailto:maxuel.engenharia@gmail.com)

<sup>3</sup> Prof. Dr. Luís Felipe Umbelino dos Santos. Professor pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense – Campus Macaé/RJ – Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental Modalidade Profissional. E-mail: [Lfumbelino@gmail.com](mailto:Lfumbelino@gmail.com)

<sup>4</sup> Prof. Dr. Tiago Gomes Barros de Carvalho. Professor pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense – Campus Macaé/RJ – Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental Modalidade Profissional. E-mail: [tiago.carvalho@iff.edu.br](mailto:tiago.carvalho@iff.edu.br)

## ***PIEZOMETER PROTOTYPE FOR LEVEL MONITORING IN WATER BODIES USING LOW-COST REMOTE SYSTEM***

**Abstract** - The present work aims at the construction of a low-cost piezometer prototype for the monitoring of groundwater and superficial surface levels, aiming at the handling, management and monitoring of water bodies and associated hydrographic basins. This project proposes a sensor module through the use of the Arduino prototyping platform and its accessories, being compatible with the reality of water bodies. Two prototypes with different sensors were built and tested, the first prototype (V.1.0), with an ultrasonic sensor showing inconsistency in the measurement with variations and oscillations in the same water depth, the second prototype, with a hydrostatic level sensor (V.1.1), presented very satisfactory results when the precision requirement is 1 (one) centimeter in the minimum time interval of 3 (three) seconds, and can be used as equipment in the monitoring of water bodies and hydrographic basins. For calibration and verification of the equipment, laboratory tests and simulation of the conditions of a watershed were used, where they were tested in an inspection well with a diameter of 100mm to measure the water table levels that have piezometric communication with the surface and underground water layer. The management and monitoring of water resources is the most important tool that provides greater efficiency in the management and decision-making involving a watershed.

**Keywords:** Management. Monitoring. Arduino prototyping.

### **Introdução**

O regime hidrológico de uma região é de extrema importância para o planejamento dos recursos hídricos, a avaliação da disponibilidade hídrica e alternativas de abastecimento e cálculo de suas estruturas fazem parte do planejamento do seu uso. Para obter uma compreensão clara desse regime de fluxo, é importante obter informações suficientes de monitoramento hidrológico por meio de uma rede de monitoramento eficaz. A especificação dos tipos de equipamentos e a frequência das medições são questões relevantes para monitorar o projeto da rede (CASTRO, 2013).

No Brasil, no que tange aos eventos de cheias e inundações, o monitoramento de é realizado por organizações como a Agência Nacional de Águas (ANA), Serviço Geológico Brasileiro (CPRM) e o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN). Alguns municípios também contam com um sistema próprio para monitoramento (Londe *et al.* 2014). As secretarias estaduais de defesa civil

e de ambiente também atuam nas ações de monitoramento de processos geoambientais e desastres naturais, mas fornecem principalmente apoio aos municípios.

Contudo, a grande parte dos municípios brasileiros de médio e pequeno porte ainda carece de investimentos públicos para um bom funcionamento. Segundo Londe et al. (2015), vários aspectos interferem no funcionamento dos órgãos municipais de Proteção e Defesa Civil: estrutura física, como as instalações, viaturas, sistemas de comunicação, recursos; corpo profissional, incluindo qualificação adequada, treinamento, motivação e interação com outros órgãos envolvidos na prevenção e resposta aos desastres. Contudo, os órgãos carecem também de instrumentos adequados às medições de dados ambientais, como sistemas de alerta a enchentes e movimentos de massa, um conjunto de estações meteorológicas, medidores de nível em cursos d'água, lagoas e superfícies freáticas. Faltam estudos de hidrologia na área da instrumentação ambiental que sejam responsáveis pelo desenvolvimento de equipamentos de medição, transmissão, indicação, registro e controle de variáveis físicas do ambiente. Em toda a costa brasileira, em especial nas formações geomorfológicas do período terciário, como as formações de tabuleiros do grupo Barreiras e as do período quaternário, como as planícies de cordões arenosos, existem poucos trabalhos científicos sobre as medições do nível da superfície freática em ambientes mais preservados. A maior parte destes utiliza métodos analógicos de medição, como régua ou tubos adaptados para a leitura (Umbelino, 2008).

É comum encontrar sondagens do lençol freático, com equipamentos mais caros para serviços geotécnicos visando a coleta de dados para instalação de empreendimentos em áreas industriais. Estas informações do lençol freático, por exemplo, não estão disponíveis na literatura acadêmica ou são disponibilizadas para a sociedade. A falta de comunicação acerca dos dados de lençol freático também ocorre no setor agrícola, já que esta prática de disseminação de informações não faz parte do cotidiano da sociedade como um todo.

## **Aspectos gerais dos Piezômetros**

O propósito de um piezômetro é determinar a pressão neutra em uma massa de solo ou rocha. Os principais modelos são os de tubo aberto, pneumáticos, hidráulicos, de resistência elétrica e cabos elétricos vibratórios (SANTOS, 2019).

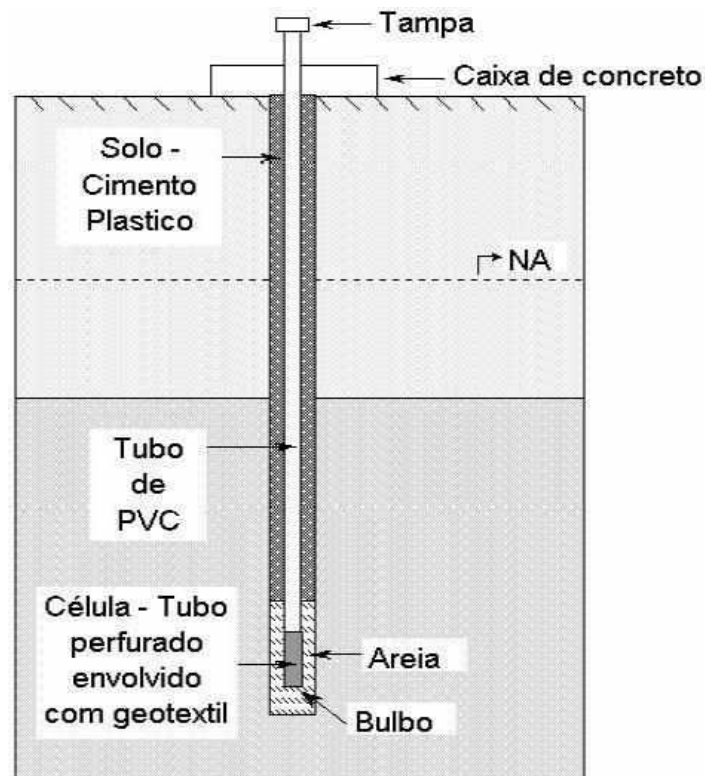
Este instrumento possui vários formatos que são adequados a cada situação. Assim, a escolha do tipo de piezômetro depende de muitos fatores, como medições estáticas ou dinâmicas, a localização do instrumento em relação aos terminais de leitura, a necessidade de medir a pressão neutra negativa e a disponibilidade do instrumento no mercado. Portanto, é impossível projetar o tipo ideal de piezômetro sem conhecer os requisitos específicos do projeto (SANTOS, 2019).

Os piezômetros de tubo aberto também são chamados de piezômetros de Casagrande ou piezômetros de tubo vertical. Cruz (2004) distingue estes instrumentos dos medidores de nível de água pela sua estrutura, comprimento do trecho perfurado e extensão do trecho do furo preenchido com material de drenagem, normalmente limitado a alguns metros. Dependendo do diâmetro do furo, mais de uma ferramenta pode ser instalada em um furo. Silveira (2006) destaca isso como uma grande vantagem da utilização de um piezômetro como resistência; sensibilidade; capacidade de realizar testes de restauração do nível de água para verificar o funcionamento; permeabilidade aproximada do solo onde o instrumento está instalado. Além disso, este piezômetro tem as vantagens de economia e fácil instalação.

Fonseca (2003) apontou algumas desvantagens dessas ferramentas, como alto tempo de resposta para materiais com baixos valores de permeabilidade, perturbação de canteiros de obras, falta de adequação para determinar a pressão dos poros durante a construção. Além disso, não aceita medições de pressão sonora, localização limitada acima da linha d'água e terminais de leitura de acesso mais difícil em comparação com outros tipos de instrumentos.

A Figura 1 mostra um esquema de um piezômetro de tubo aberto que consiste em uma célula combinada com tubo de PVC. Essas células são colocadas em um bulbo de material de drenagem e circundadas por uma camada de vedação de comprimento limitado (1,0 a 1,5 m). A água intersticial passa pelo filtro do bulbo de drenagem do instrumento até que o equilíbrio com a pressão intersticial seja alcançado. Corresponde ao nível de água acima da lâmpada do aparelho.

Figura 1 – Piezômetro de tubo aberto



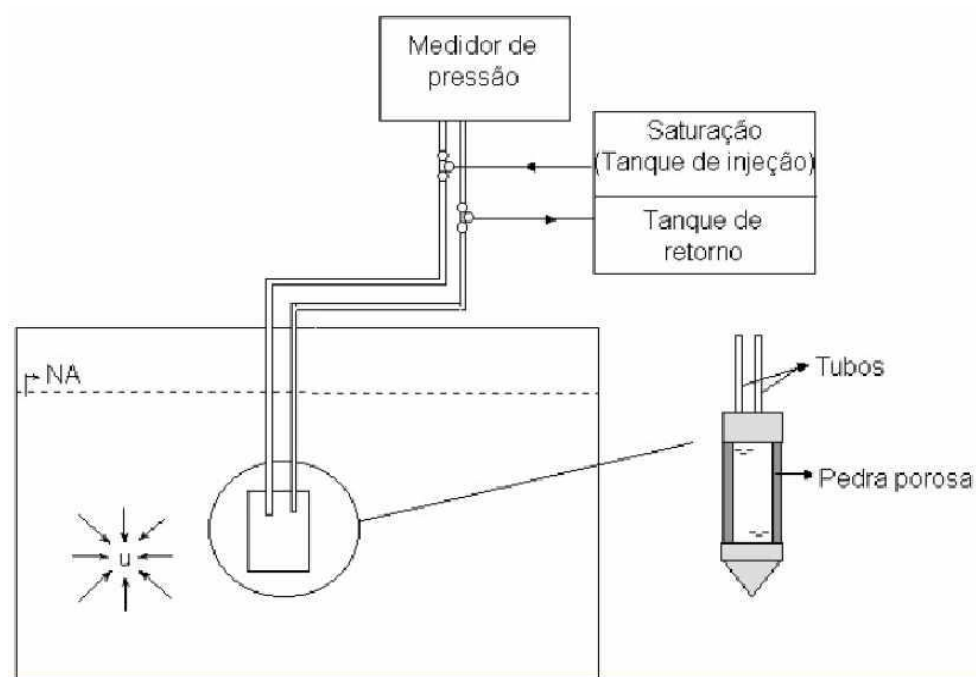
Fonte: Santos, (2019).

O nível da coluna de água no tubo do piezômetro é medido com uma sonda elétrica ou fita métrica. O sensor é operado eletricamente e mostrado em um display digital assim que a ponta atinge o nível da água.

Os piezômetros hidráulicos também são chamados de piezômetros ingleses ou piezômetros hidráulicos fechados. Eles são destinados à instalação em fundações de barragens de terra e aterros durante a construção. Cruz (2004) destaca que este piezômetro é considerado por alguns engenheiros, como o mais adequado para medir a pressão intersticial durante a fase de construção e nas fases de enchimento e operação do reservatório. O piezômetro consiste em uma rocha porosa conectada a um painel de leitura externo por meio de dois tubos flexíveis de náilon revestidos de polietileno completamente saturados com água destilada e desidratada.

O esquema é mostrado na Figura 2. Uma vez que o painel e os tubos estejam saturados com água, abra a válvula que liga os dois tubos do piezômetro ao manômetro de leitura, um de cada vez, e aguarde a estabilização da leitura. A saturação dos tubos é feita por circulação de água destilada e desidratação com equipamentos específicos (CRUZ, 2004).

Figura 2 – Esquema de um piezômetro hidráulico

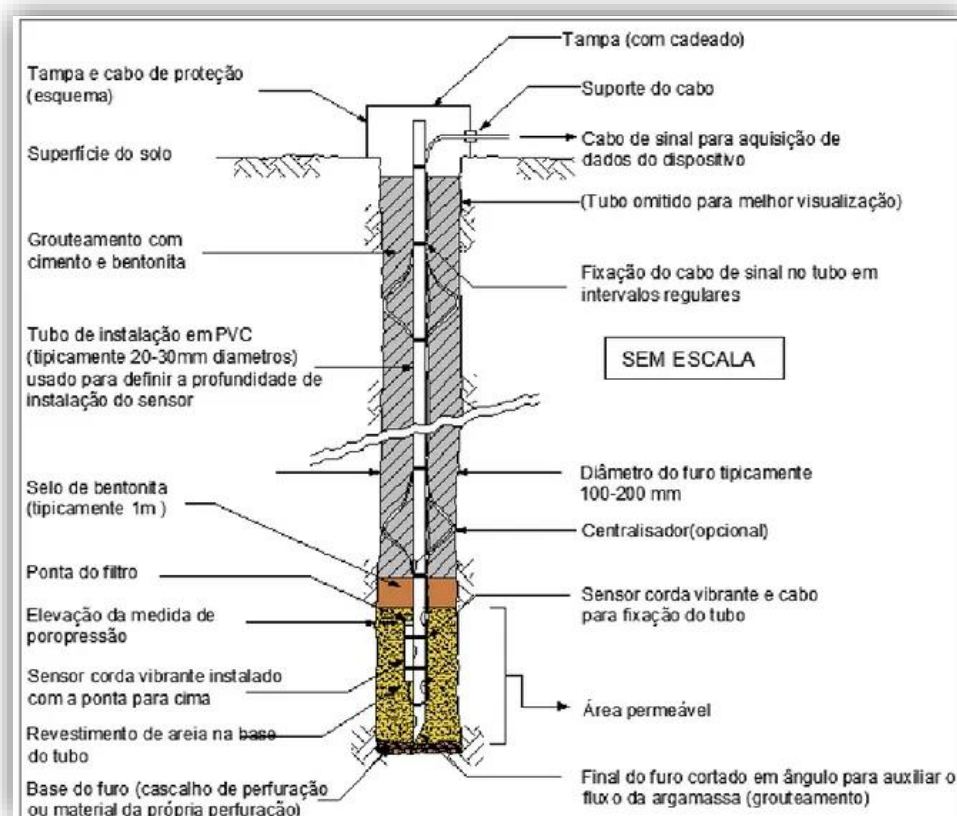


Fonte: Santos, (2019).

De acordo com Fonseca (2003), ainda que a de aeração seja uma premissa na fase de instalação dos instrumentos e mesmo utilizando pedras porosas muito finas, é praticamente impossível garantir a condição de saturação do sistema ao longo de toda a vida útil do medidor. Assim, leituras diferentes de pressão em ambos os tubos constituem claro sinal da presença de ar e a necessidade de trabalhos de aeração *in situ*. Este fato consiste em uma vantagem do piezômetro hidráulico frente a outros tipos deste instrumento.

O piezômetro de corda vibrante é um piezômetro elétrico, sua função básica é medir a pressão intersticial da água que passa pelos poros da rocha até o diafragma interno onde o transdutor mede a deflexão. Existem vários modelos de piezômetros de corda vibratória, e para selecionar o modelo mais adequado, a instalação deve considerar a faixa de pressão que o sensor irá medir, sabendo que quanto maior a faixa do sensor, maior o erro de leitura do sistema (SANTOS, 2019).

Figura 3 – Instalação típica de um piezômetro de corda vibrante



Fonte: Modificado de Santos, (2019).

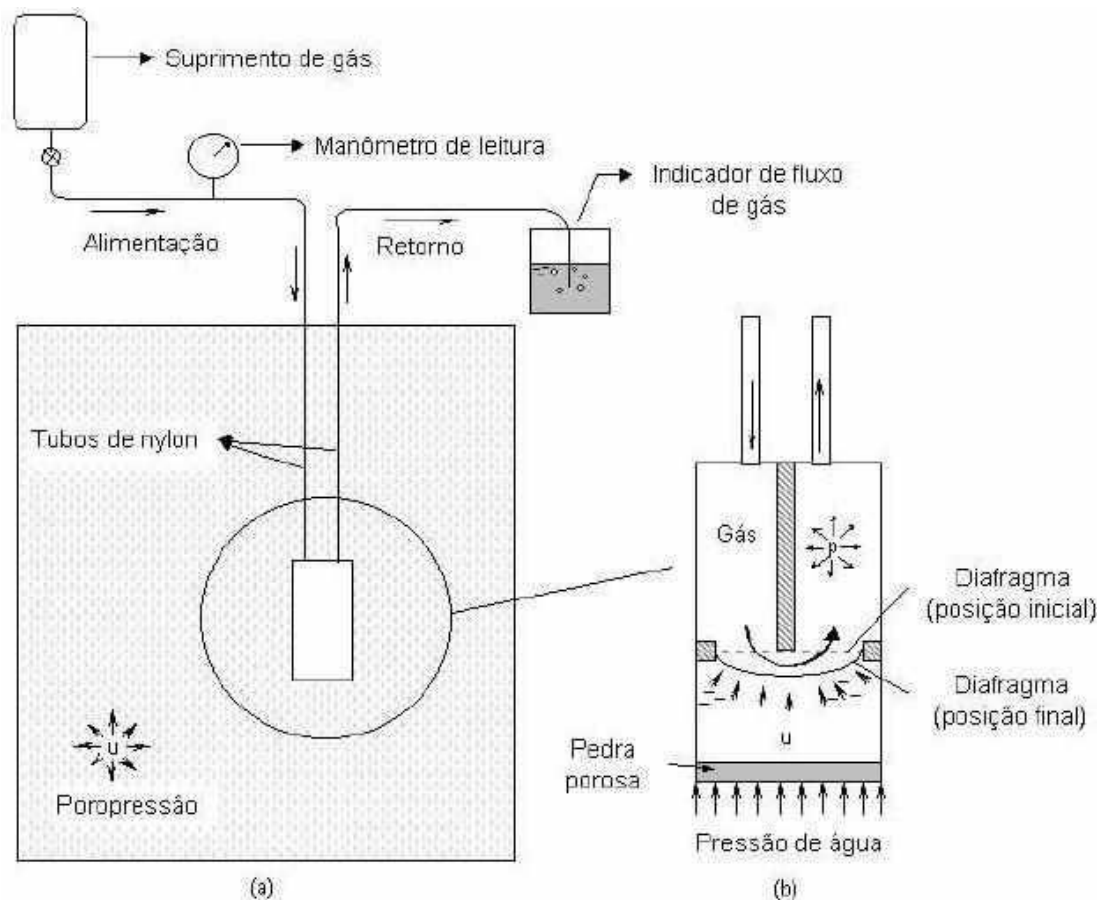
Segundo Silveira (2006), o representante da empresa suíça Maihak, que se dedica à produção de instrumentos como piezômetros de corda vibratória, define alguns cuidados necessários para a instalação do instrumento. Essas precauções incluem: use cabos com blindagem de cobre; aterramento de proteção do cabo próximo à cabine de leitura; proteja a caixa de seleção de leitura do instrumento ao lado da cabine de leitura; instale um dispositivo de proteção para evitar que a sobretensão atinja partes sensíveis do transdutor. A necessidade de blindagem é reduzir a interferência de campos magnéticos. Entre as vantagens dos piezômetros de corda vibrante está o volume extremamente reduzido de água necessário para que apresentem leituras eficientes, apresentando assim respostas praticamente instantâneas.

Por fim, o funcionamento de um piezômetro é descrito por Cruz (2004) como um equilíbrio de pressão atuando sobre um diafragma flexível, onde a água cuja pressão se deseja medir atua de um lado e o gás cuja pressão está variando e atuando do outro conhecido. As leituras de pressão de acordo com Silveira (2006) são realizadas da

seguinte forma: O aumento de pressão ocorre através do tubo de alimentação e a resistência à pressão é medida no tubo de retorno onde a pressão diminui. É igual à pressão intersticial do solo. Quando a pressão no tubo volta a zero, a pressão exercida pela água que passa pela rocha porosa em equilíbrio com a água intersticial pode ser determinada com precisão.

Detalhes deste tipo de piezômetro são mostrados na Figura 4. A configuração deste instrumento consiste em uma garrafa de suprimento de gás, um manômetro de leitura, uma pedra porosa e um indicador de fluxo de gás. A utilização desse instrumento, conforme demonstrado por Cruz (2004), não interfere na posição do instrumento durante a medição, não possui restrições quanto à posição do instrumento, é insensível às emissões atmosféricas, tem tempo de resposta relativamente curto, entre outras coisas. Uma limitação é a necessidade de reabastecer periodicamente o cilindro de gás comprimido e reduzir a confiabilidade das medições de pressão neutra negativa.

Figura 4 – Esquema de um piezômetro pneumático



Fonte: Modificado de Santos, (2019).



## **Medidor de nível**

Embora a medição de nível de líquido seja um processo muito simples na teoria, na prática requer procedimentos e técnicas avançadas. Sua complexidade varia desde simples exibição para medições locais até medições remotas com registro apropriado ou controle automático (SOARES, 2015).

Instrumentos de medição de nível de líquido medem a posição da superfície de um líquido em um ponto de referência ou em nível de água parada. A definição de nível de líquido é a altura do tanque de armazenamento de líquido ou o conteúdo do tanque de armazenamento, o que permite avaliar, monitorar e controlar o líquido para controle operacional e/ou proteção ambiental. Os três métodos básicos de medição de nível são: direto, indireto e descontínuo (SOARES, 2015).

Assim, o objeto geral deste trabalho é projetar e construir um protótipo de piezômetro para o monitoramento de nível em corpos hídricos utilizando sistema remoto de baixo custo, que possa registrar o nível fluviométrico de forma remota, tendo o arduíno como tecnologia base na coleta desses dados. Especificamente, busca-se implementar o protótipo em uma estação de testes de medição de níveis d'água. As medições serão realizadas em um intervalo de tempo na escala de minutos, constantes e totalmente automatizados.

## **Materiais e Métodos**

O protótipo foi desenvolvido no período de 10/2022 e na seção abaixo estão descritos os materiais que foram utilizados para o desenvolvimento da parte física e os métodos utilizados para realizar a programação do dispositivo e a obtenção dos dados.

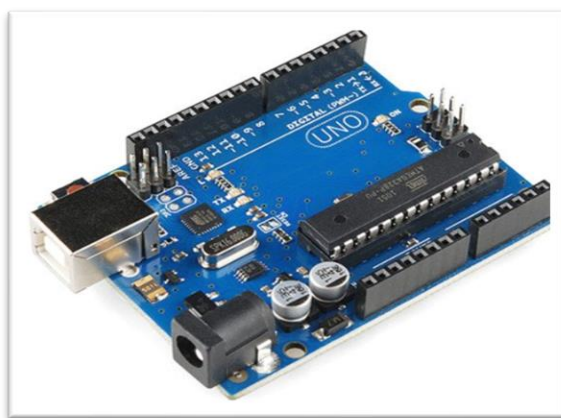
### **Medidor de nível com Arduíno**

Arduíno é uma plataforma de computação física de código aberto que permite que a tecnologia seja compartilhada entre diferentes partes interessadas. O Arduino pode estender sua funcionalidade usando *shields*, que são placas de circuito que, quando fixadas na parte superior do Arduino, permitem novos recursos como GPS, GSM, módulos Ethernet e muito mais (BANZI; SHILOH, 2015). Assim, o Arduino irá ler e

controlar diversos sensores e outros *shields* (módulos com funcionalidade adicional ao Arduino) conectados a ele, e após armazenar em um cartão micro-SD.

O conjunto da obra é composto não somente pela parte de hardware, mas também pelo software. Ambos em código aberto, eles podem ser modificados conforme a necessidade do usuário, basta programar usando o *software* do *Arduino IDE* para contar ao equipamento o que ele deve fazer. Além disso, a parte de software é desenvolvida por meio de linguagem C/C++ e tudo isso acontece em um ambiente gráfico escrito em Java. Ele ainda traz um firmware embutido e que é carregado na memória ROM da placa (MONK, 2017).

Figura 5 – Arduino



Fonte: Modificado Autor (2022).

### **Adaptador para cartão SD**

O objetivo do projeto é salvar no cartão SD, todos os dados da leitura de nível, incluindo a data e horários obtidos através do módulo RTC, a cada dez minutos. Para que isso fosse possível, foi preciso utilizar um Módulo adaptador para cartão SD, para permitir que o arduíno escrevesse no Cartão SD.

Figura 6 – Módulo adaptador para cartão SD



Fonte: Modificado Autor (2022).

## Módulo Real Time Clock RTC

O módulo RTC foi utilizado no projeto para que se tivesse uma base da data e horários em que foram feitas as medições, O Módulo Real Time Clock RTC DS 32311 é um relógio em tempo real (RTC) que possui calendário completo e conta com 56 Bytes de SRAM. Ele é capaz de fornecer informações de hora, minutos, segundos, dia

Figura 7 – Módulo RTC



Fonte: Modificado Autor (2022).

Para o funcionamento do Módulo Real Time Clock RTC DS1307 é necessário além da alimentação da placa, uma bateria CR2032 para poder permitir que os dados fiquem armazenados mesmo com a falta de energia. Além disso, o módulo é capaz de detectar falhas de energia e consequentemente acionando a bateria para evitar que os dados sejam perdidos. O módulo também é capaz de ajustar automaticamente o final dos meses que possuem menos de 31 dias, faz a correção de ano bissexto e trabalha tanto no formato de 12 horas quanto 24 horas.

### Bateria

Como o projeto precisaria ser autônomo e ficar fora de uma tomada, optamos por colocar uma bateria 12v que se adapta perfeitamente ao arduíno e ao transmissor de nível hidrostático, que também utiliza 12v para funcionar.

Figura 8 – Bateria 12v 7A Selada



Fonte: Modificado Autor (2022)

A princípio, foi escolhida uma bateria de 12v 7Ah da *GetPower*, bateria muito utilizada em *nobreaks* e sistemas de cercas elétricas, no entanto essa bateria mostrou muitos pontos negativos ao ser testada na prática, ela não pode cair ou ficar de cabeça para baixo ou deitada, pois utiliza ácido sulfúrico em sua composição, ácido esse que é extremamente perigoso e corrosivo, além de apresentar riscos à saúde. Além desses fatores, ela poderia comprometer os componentes eletrônicos próximos.

Figura 9 – Bateria de li íon



Fonte: Modificado Autor (2022).

Para solucionar esse problema, pesquisamos e chegamos à conclusão que uma bateria de lítio, seria a melhor opção, por seu peso reduzido e segurança consideravelmente alta em relação a última bateria citada anteriormente, foram feitas várias medições e foi constatado que o arduíno consome 30maH durante a leitura do nível e 18maH em *standby*, por isso, a bateria anterior foi substituída por uma de 12v 6,8Ah de lítio.

### a) Sensor ultrassônico

Inicialmente a ideia era montar o medidor de nível usando um sensor ultrassônico que funciona da seguinte forma: por meio da emissão de sinais ultrassônicos, é possível especificar a distância do sensor até um determinado obstáculo. O range de atuação é da ordem de 4 metros, com distância mínima de medição de 2 cm, incluindo ainda obstáculos dentro de um ângulo de abertura de 15 graus.

O princípio de funcionamento do HC-SR04 (sensor ultrassônico) consiste na emissão de sinais ultrassônicos pelo sensor e na leitura do sinal de retorno (reflexo/eco) desse mesmo sinal. A distância entre o sensor e o objeto que refletiu o sinal é calculada com base no tempo entre o envio e a leitura de retorno. Como precisávamos de um sensor que fizesse leitura na água, optamos por usar o modelo à prova d'água.

Figura 10 – Sensor Ultrassônico a prova d'água



Fonte: Modificado Autor (2022).

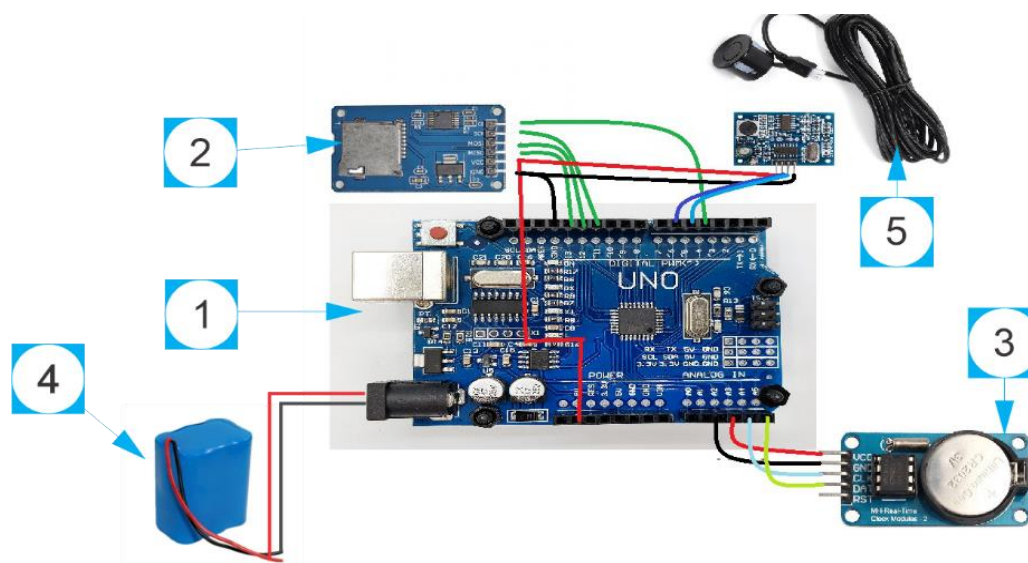
Assim, a estrutura do sistema ficou composto por três partes principais:

**Transmissor** Ultrassônico – Emite as ondas ultrassônicas que serão refletidas pelos obstáculos.

**Um receptor** – Identifica o eco do sinal emitido pelo transmissor.

**Circuito de controle** – Controla o conjunto transmissor/receptor, calcula o tempo entre a emissão e recepção do sinal.

Figura 11 – Protótipo 1.0 - Medidor de nível ultrassônico montado



Fonte: Autor (2022).

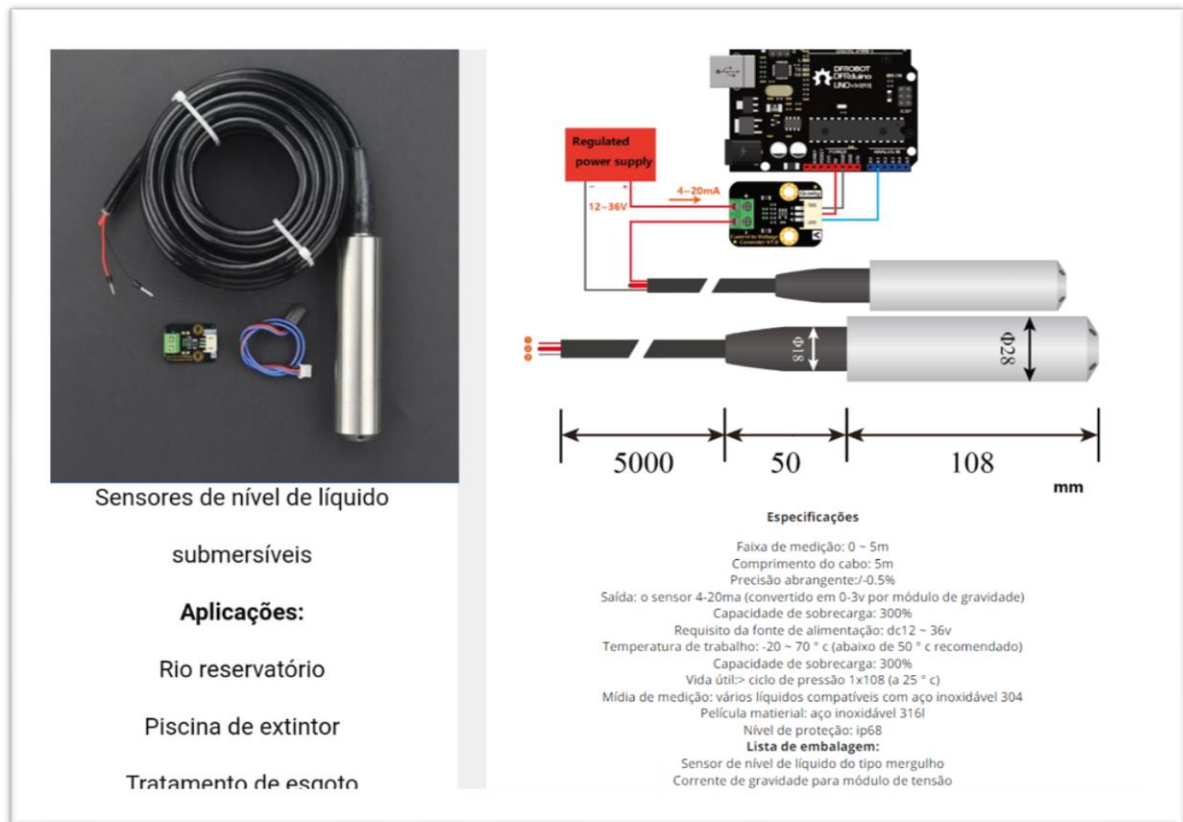
Foram utilizados os seguintes componentes:

1. Arduino Uno R3
  2. Módulo cartão SD – **MH-SD Card Module**
  3. Modulo RTC (*Real Time Clock*)
  4. Bateria LITIO 12V - 6,8AH
  5. Sensor Ultrassônico a prova d'água – **AJ-SR04M**
- Adicionais – 1,5m de Condutores 0,25mm

#### **b) Sonda de profundidade de nível hidrostático**

Esse componente é um transmissor de pressão submersível que tem um diafragma de pressão, onde o lado interior do diafragma é ventilado para a pressão atmosférica através de um tubo de ventilação no cabo e o lado externo está em contato com o líquido, medindo a pressão estática da coluna de líquido acima do transmissor. A pressão estática é basicamente causada pelo peso do fluido no topo do transmissor e é utilizada para calcular o nível do líquido.

Figura 12 – Transmissor de nível hidrostático, recomendações de instalação e uso do Fabricante

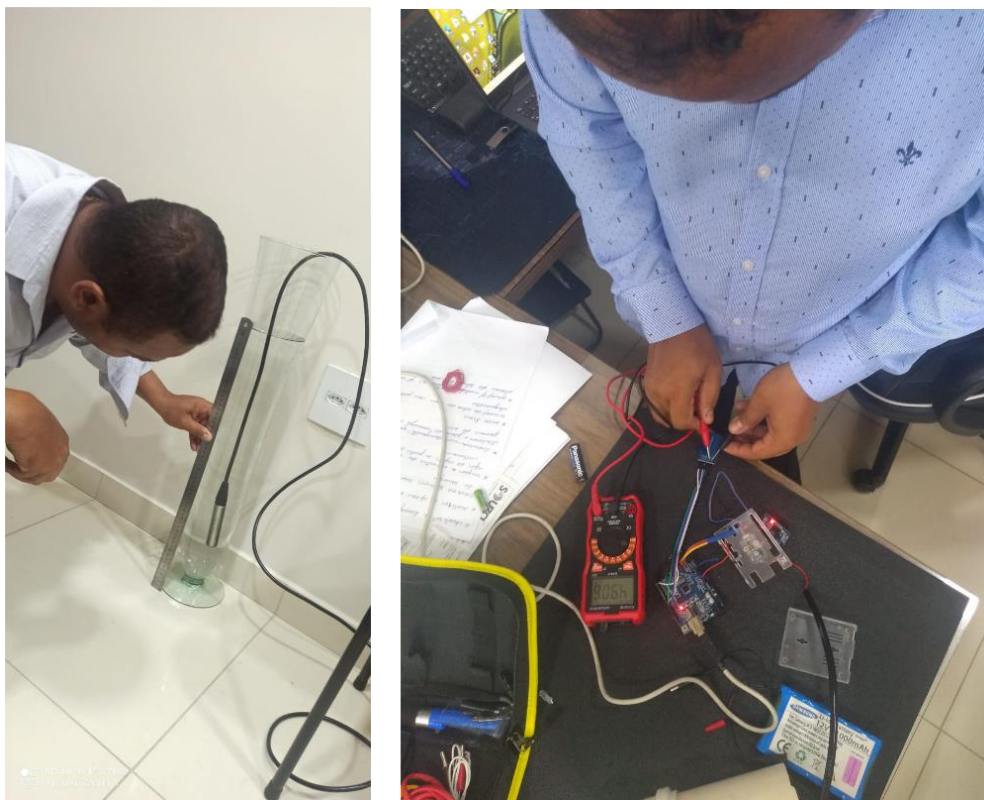


Fonte: Dados fabricante, recortes modificados autor (2022).

## MONTAGEM DO EQUIPAMENTO

Após a definição de todos os sensores que deveriam ser instalados no protótipo do equipamento, este foi montado e levado para testes iniciais de laboratório. Assim, todo o sistema elétrico sofreu testes de continuidade e resistência de todos os condutores, figura 13, podendo a partir daí ser montado e levado para testes em laboratório.

Figura 13 – Piezômetro de nível hidrostático, montagem eletrônica e testes de laboratório



Fonte: autor (2022).

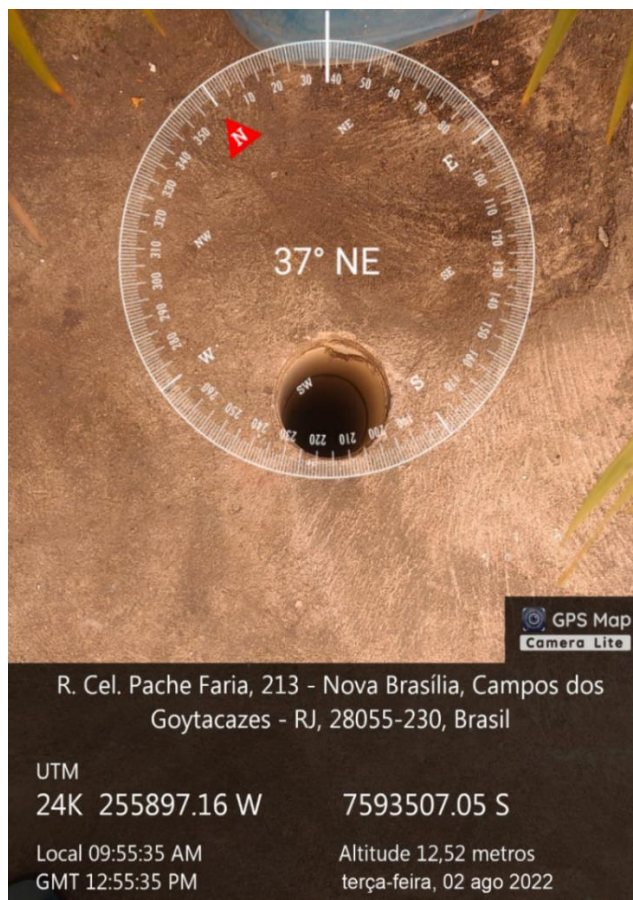
### **Medição e calibração de campo**

Para calibração e verificação dos equipamentos utilizou as características primárias que serão estabelecidas em campo, sendo este implantado em um “poço de inspeção com diâmetro de 100 mm” para medição dos níveis freáticos do subsolo. Da mesma forma será implantado um tubo de 100 mm perfurado que possua comunicação piezométrica com a lâmina de água superficial da lagoa ou rio, a fim de medir a variação da lâmina superficial de água da bacia hidrográfica. Portanto em ambos os casos medição subterrânea e superficial os equipamentos serão instalados em poços de inspeção com diâmetro de 100 mm.

Foi escolhido um poço artesiano com diâmetro de 100mm, localizado nas coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator) – Siglas 2000 – Zona 24S – 255897,16W e 7593507,05S conforme figura 13, onde será possível reproduzir as características de campo.



Figura 15 – Localização do poço de inspeção para instalação dos equipamentos



Fonte: Modificado Autor (2022).

### **Calibração e aferição - medidor de nível usando sensor de ultrassônico**

No dia 15 de agosto de 2022 foi instalado o protótipo 1.0 no poço artesiano com diâmetro de 100mm, o protótipo 1.0 Medidor Ultrassônico com modificações. Os equipamentos foram montados e instalados com correções de programação para medições com intervalo de 1h, com a finalidade de executar as medições em um intervalo de 24 horas.

A montagem do equipamento foi distribuída da seguinte forma:

*Delay* (3600000); “unidade em milissegundo” (Realizar essa ação a cada 1 hora)

Sensor Ultrassônico a prova d’água – AJ-SR04M

Cano PVC água fria; 1,0 metro; para posicionar o sensor em ângulo reto da medição evitando que erros na medição.

Tubo PVC 100 mm de esgoto com 02 cap’s de 100 mm

“T” de PVC 150x100mm c/ cap 150mm

Figura 16 – Protótipo 1.0 – Sensor Ultrassônico a prova d'água – AJ-SR04M



Fonte: Autor (2022).

Figura 17 – Protótipo 1.0 – Sensor Ultrassônico a prova d'água em utilização no campo



Fonte: Autor (2022).

### Quadro 1 – Resultados do modelo 1.0

118.00 cm - Distância da Cabeça do sensor ao nível estário da lâmina de água.

//////////MEDICAO INICIADA 15.08.2022//////////

09:40:07 15.08.2022 erro_log	13:40:07 15.08.2022 erro_log	17:40:07 15.08.2022 120.00 cm	21:40:07 15.08.2022 120.00 cm	01:40:07 16.08.2022 121.00 cm	05:40:07 16.08.2022 123.00 cm
10:40:07 15.08.2022 121.00 cm	14:40:07 15.08.2022 120.00 cm	18:40:07 15.08.2022 122.00 cm	22:40:07 15.08.2022 121.00 cm	02:40:07 16.08.2022 120.00 cm	06:40:07 16.08.2022 erro_log
11:40:07 15.08.2022 119.00 cm	15:40:07 15.08.2022 121.00 cm	19:40:07 15.08.2022 erro_log	23:40:07 15.08.2022 122.00 cm	03:40:07 16.08.2022 121.00 cm	07:40:07 16.08.2022 121.00 cm
12:40:07 15.08.2022 119.00 cm	16:40:07 15.08.2022 119.00 cm	20:40:07 15.08.2022 121.00 cm	0:40:07 16.08.2022 erro_log	04:40:07 16.08.2022 122.00 cm	08:40:07 16.08.2022 123.00 cm

Fonte: Autor (2022).

### Calibração e aferição - medidor de nível usando transmissor de nível hidrostático

No dia 17 de agosto de 2022 foi instalado o protótipo 1.1 – Medidor de nível hidrostático com modificações. O equipamento foi montado e instalado com modificação de programação para medições com intervalo de 1h, com finalidade de executar as medições em um intervalo de 24 horas.

Figura 18 – Protótipo 1.1 – Sensor de nível hidrostático montado



Fonte: Autor (2022).

Figura 19 – Protótipo 1.1 – Sensor hidrostático em utilização no campo



Fonte: Autor (2022).

### Quadro 2 – Resultados do modelo 1.1

21.00 cm - Mergulhado no nível estário da lâmina de água.

//////////MEDICAO INICIADA 17.08.2022//////////

10:15:27 17.08.2022 21 cm	11:15:27 17.08.2022 21 cm	12:15:27 17.08.2022 21 cm	13:15:27 17.08.2022 21 cm	14:15:27 17.08.2022 21 cm	15:15:27 17.08.2022 21 cm
16:15:27 17.08.2022 21 cm	17:15:27 17.08.2022 21 cm	18:15:27 17.08.2022 21 cm	19:15:27 17.08.2022 21 cm	20:15:27 17.08.2022 21 cm	

133.00 cm - Mergulhado no nível estário da lâmina de água.

//////////MEDICAO INICIADA 18.08.2022//////////

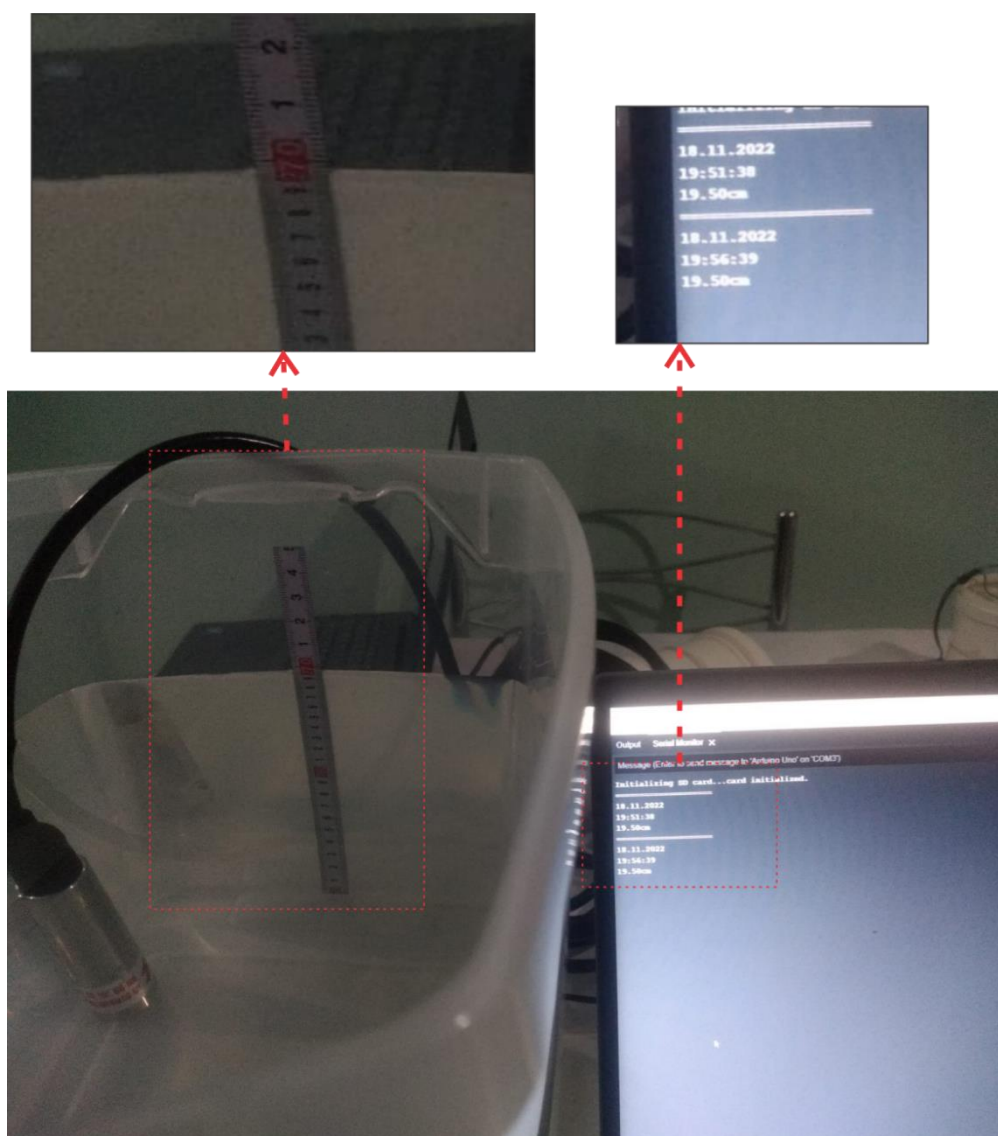
21:19:27 18.08.2022 113 cm	22:19:27 18.08.2022 113 cm	23:19:27 18.08.2022 113 cm	00:19:27 19.08.2022 113 cm	01:19:27 19.08.2022 113 cm	02:19:27 19.08.2022 113 cm
03:19:27 19.08.2022 113 cm	04:19:27 19.08.2022 113 cm	05:19:27 19.08.2022 113 cm	06:19:27 19.08.2022 113 cm	07:19:27 19.08.2022 113 cm	08:19:27 19.08.2022 113 cm

Fonte: Autor (2022).

## Medição e calibração de laboratório

O sensor hidrostático passou por todos os critérios de calibração e verificação de laboratório, sendo esta diferenciada, pois a calibração manual da medição é submersa para que haja a pressão hidrostática<sup>5</sup>, além das influências da densidade e da gravidade. Para que se conseguisse a precisão da calibração ideal do equipamento, o protótipo foi submetido a diversos testes de laboratório em recipiente milimetrado capaz de verificar a altura de nível com os dados dos sensores, conforme a figura 20.

Figura 20 – Protótipo 1.1 – Medição e calibração com testes em laboratório



Fonte: Autor (2022).

<sup>5</sup> Pressão produzida por um fluido em equilíbrio, a pressão hidrostática se submete as condições da altura da coluna de água acima dos sensores de nível.

Todas as medições de laboratório apresentaram êxito, sem erros de leituras, com precisão constante de 19,5cm e variação compatível com a altura da lâmina de água na régua milimetrada.

Os testes feitos constataram que o medidor hidrostático leva de 3 (três) a 5 (cinco) segundos para que os sensores hidrostáticos atualizem adequadamente a altura estática da lâmina de água; portanto, é aconselhável que sua aplicação deva restringir a variação da lâmina na escala de intervalos em centímetro e medições com intervalo mínimo de 3 (três) segundos.

## **COMENTÁRIOS DOS TESTES**

O Piezômetro de nível hidrostático passou por todos os critérios de calibração e verificação de laboratório, sendo esta diferenciada, pois a calibração manual da medição é submersa para que haja a pressão hidrostática, além das influências da densidade e da gravidade. Para que se conseguisse a precisão da calibração do equipamento, o protótipo foi submetido a diversos testes de laboratório em recipiente milimetrado capaz de verificar a altura de nível com os dados dos sensores, conforme a figura 8.

Todas as medições de laboratório apresentaram êxito, sem erros de leituras, com precisão constante de 19,5cm e variação compatível com a altura da lâmina de água na régua milimetrada.

Os testes feitos constataram que o Piezômetro hidrostático leva de 3 (três) a 5 (cinco) segundos para que os sensores hidrostáticos atualizem adequadamente a altura estática da lâmina de água; portanto, é aconselhável que sua aplicação deva restringir a variação da lâmina na escala de intervalos em centímetro e medições com intervalo mínimo de 3 (três) segundos.

Quadro 3 - Dispositivos utilizados para a construção protótipo piezômetro de nível hidrostático

Item	Descrição funcionamento	R\$
Placa Uno R3 Arduino	Microcontrolador utilizado para coletar os dados dos sensores e enviá-los ao cartão de memória	55,36
Jumpers fêmea-fêmea	Para conectar os sensores ao Motor Shield	7,51
Módulo Leitor Gravador e Cartão Micro Sd	O SD card Arduino trata-se de um módulo que possui integrado um leitor de cartão Micro SD	58,88
DS3231 é um módulo RTC (Real Time Clock)	É usado para manter a data e a hora da maioria dos projetos eletrônicos. Este módulo tem sua própria fonte de alimentação de célula tipo moeda,	33,16
Bateria Lítio 12v 31000mah	Sistema proposto por oferecer uma quantidade constante de corrente por um período de 15 dias.	182,30
Sensor de nível hidrostático	Transmissor de pressão submersível que tem um diafragma de pressão responsável pelo envio de dados ao microcontrolador.	450,30
2m Cabo flexível para eletrônica 0,50mm <sup>2</sup>	Interligações dos Sistema e componentes eletrônicos	5,03
0,50m tubo PVC 100mm	Montagem e encapsulamento das peças e componentes eletrônicos	10,00
05 Cap Esgoto PVC 100mm	Montagem e encapsulamento das peças e componentes eletrônicos	30,00
Adesivo Plástico Incolor Cola Para Cano Pvc - 17g	Montagem e encapsulamento das peças e componentes eletrônicos	15,90
	<b>VALOR TOTAL R\$ 848,44</b>	

\* Custo relativo insumos 08/2022

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

É possível avaliar que, o Piezômetro de nível hidrostático montado com sensor de nível hidrostático, utilizando componentes acoplados ao microcontrolador arduíno possui grande capacidade em eficiência e acerto, possui capacidade de medição muito satisfatória quando a exigência de precisão for de 1 (um) centímetro no intervalo de tempo

mínimo de 3 (três) segundos, podendo ser utilizado como equipamento no monitoramento de corpos hídricos e bacias hidrográficas que necessitem de dados precisos para gestão e planejamento no controle quantitativo e manejo adequado, podendo ser aplicado de forma superficial (lâmina d' água) ou de forma geotécnica para monitoramento de poços subterrâneos. Sua aplicação é diversificada podendo ser utilizado no monitoramento de barragens, poços artesianos, bacias de retenção e amortização, barragens de rejeitos, entre outros que possuam necessidade do conhecimento hidrodinâmico do local.

O presente estudo viabiliza a construção de um equipamento mais robusto, uma vez que os protótipos comprovaram sua eficiência diante da medição de nível de água. O sistema foi projetado para ser autônomo e utiliza bateria para fornecer a energia necessária para o sistema. Para trabalhos futuros e aperfeiçoamento do sistema, será necessário um maior número de testes em campo, para verificar a confiabilidade e o funcionamento do sistema sujeito às intempéries ambientais, como sol, vento e chuva. Além deste, é proposto o aperfeiçoamento a fim de que os resultados obtidos sejam transferidos pela rede celular móvel.

Dessa forma, conclui-se que o equipamento desenvolvido atende aos requisitos técnicos e operacionais de medição ambiental. Porém, por ser um protótipo, não é uma substituição dos equipamentos similares já existentes no mercado, para isso será necessário testes em laboratórios credenciados e certificados nacionalmente e internacionalmente que validem o seu funcionamento.

## **Referências**

AESBE - Associação das Empresas de Saneamento Básico Estaduais. Água não tratada ou contaminada pode ser vetor de doenças com transmissão hídrica. Brasília: 2016. Disponível em <http://www.aesbe.org.br>. Acesso em: 08 nov. 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). Gestão da Rede Hidrometeorológica. Disponível em: <http://www2.ana.gov.br/Paginas/institucional/SobreaAna/hidroweb.aspx>. Acesso em: 16 Nov. 2022.

BANZI, M. SHILOH, M. Primeiros Passos com o Arduino—2ª Edição: A plataforma de prototipagem eletrônica open source. Novatec Editora, 2015.

CASTRO, D. de. Ciclo das Águas na Bacia do Rio Tramandaí. [S.l.: s.n.], 2019. Disponível em: <https://taramandahy.org.br/project/ciclo-das-aguas-na-baciado-rio-tramandai/>. Acesso em: 15 Ago 2022.



CASTRO, L. M. A. Avaliação das curvas-chaves de vertedores instalados para monitoramento de vazões de cursos de água de pequeno porte. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. 20., 2013, Bento Gonçalves. Anais eletrônicos. Bento Gonçalves: ABRH, 2013. Disponível em: <[http://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Su38marios/2ab8f8293074b73a587d7de194862eb\\_4a7e9b37c767c5d5e5332264f16855fd.pdf](http://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Su38marios/2ab8f8293074b73a587d7de194862eb_4a7e9b37c767c5d5e5332264f16855fd.pdf)>. Acesso em: 11 Nov. 2022.

CRUZ, P. T. da. 100 Barragens brasileiras. 2. ed. [S. l.]: Oficina de textos, 2004.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Escassez hídrica e o fornecimento de energia elétrica no Brasil. [S.l.: s.n.], 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/sala-de-imprensa/noticias/Documents/infogr%C3%A1fico.pdf>>. Acesso em: 15 Ago 2022.

FONSECA, A. da R. Auscultação por instrumentação de barragens de terra e enrocamento para geração de energia elétrica - Estudo de caso das barragens da UHE São Simão. 2003. Dissertação (Mestrado em Geotecnia). Universidade Federal de Ouro Preto, [S. l.], 2003.

LIMA, E. L. Módulo de sensores para monitoramento da qualidade da água com transmissão sem fio utilizando plataforma de prototipagem. Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada. Universidade Estadual de Feira de Santana, Bahia, 2018

MONK, S. Programação com Arduino: começando com Sketches. Bookman Editora, 2017.

SANTOS, L. C. Estudo sobre a instrumentação de barragens de terra e rejeitos. Faculdade de Engenharia Civil. Universidade Federal de Uberaba. 2019.

SILVEIRA, J. F. A. Instrumentação e segurança de barragens de terra e enrocamento. 1. ed. [S. l.]: Oficina de textos, 2006.

SOARES, N. C. Sistema para monitoramento de nascentes e cursos de água via SMS. Escola de minas colegiado do curso de engenharia de controle e automação – CECAU. Universidade Federal de Ouro Preto, MG. 2015.

UMBELINO, L. F. Fitossociologia e variabilidade espacial e temporal da superfície freática de solos de uma formação vegetal de restinga, Carapebus, RJ. 2008. Tese (Doutorado em Ecologia). Universidade Federal do Rio de Janeiro.

## ARTIGO CIENTÍFICO II

PROTÓTIPO ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE BAIXO CUSTO COM  
MULTIPARÂMETROS DE MEDIÇÃO*Maxuel Bernades Donato*<sup>6</sup>*Luis Felipe Umbelino dos Santos*<sup>7</sup>*Tiago Gomes Barros de Carvalho*<sup>8</sup>

ISBN: 978-65-5379-255-5

DOI: 10.47573/aya.5379.2.186.11

Link do Livro: <https://ayaeditora.com.br/Livro/25361>

Tópicos Especiais em Engenharia: inovações e avanços tecnológicos - Vol. 6. Pág. 142 á 154

**Resumo** - Estações meteorológicas são instrumentos fundamentais para a tomada de decisão na gestão do território e nas diversas atividades relacionadas às condições meteorológicas. Contudo, existe a necessidade de possibilitar maior acesso deste instrumento a sociedade, a partir do desenvolvimento de estações, com baixo custo e maior tecnologia para os usuários. Diante disso, o presente estudo tem como objetivo projetar e construir um protótipo que possa monitorar dados meteorológicos de forma remota, com o uso do arduino, como plataforma de prototipagem eletrônica *open source*. Os resultados demonstraram que o protótipo construído apresentou funcionamento com grande eficácia em testes de laboratório. As medições foram variando de acordo com as condições expostas nos testes.

**Palavras-chave:** Estações Meteorológicas. Monitoramento. Baixo Custo. Arduino. Protótipo

---

<sup>6</sup> Mestrando no Programa de Pós-Graduação (PPEIA) em Engenharia Ambiental Profissional Instituto Federal Fluminense, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, [maxuel.engenharia@gmail.com](mailto:maxuel.engenharia@gmail.com)

<sup>7</sup>

Prof. Dr. Luis Felipe Umbelino dos Santos. Professor pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense – Campus Macaé/RJ – Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental Modalidade Profissional. E-mail: [Lfumbelino@gmail.com](mailto:Lfumbelino@gmail.com)

<sup>8</sup> Prof. Dr. Tiago Gomes Barros de Carvalho. Professor pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense – Campus Macaé/RJ – Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental Modalidade Profissional. E-mail: [tiago.carvalho@iff.edu.br](mailto:tiago.carvalho@iff.edu.br)

## LOW-COST WEATHER STATION PROTOTYPE WITH MULTIPARAMETER MEASUREMENT

Abstract - With the great advances in science, satellites were sent into space in an attempt to find answers and solutions to certain issues. One of the satellites initially sent was meteorological, starting recording and transmitting meteorological information around the world. Therefore, work with meteorological stations has become important for the advances in science and technology and a highlight for stations developed with more accessible and low-cost parts and accessories, allowing access to this technology to a greater number of people. The present study aims to design and build a prototype that can monitor rainfall, wind and temperature data remotely, using the arduino as the base technology for collecting these data; Deploy the prototype to a test station. As a result, its operation showed great efficiency in laboratory tests where they were carried out with a pluviometer in Scale 0 to 150 mm and a Portable Digital Anemometer INS-1382. The measurements varied according to the conditions exposed in the tests.

Keywords: Meteorological Stations. Monitoring. Low cost. Arduino. Prototype

### Introdução

Uma estação meteorológica consiste em uma série de instrumentos ou sensores responsáveis por obter dados meteorológicos de um mesmo local. Além de ser uma ferramenta básica para o monitoramento das condições climáticas, os dados podem ser posteriormente utilizados para serem analisados utilizados para análise por agricultores, gestores de trânsito, torres de controle de aeroportos, pesquisadores, entre outros (INMET, 2019). É possível afirmar que praticamente todas as atividades humanas dependem dos dados coletados nas estações meteorológicas, desde o dia a dia do cidadão comum até as mais importantes atividades econômicas, como a agricultura, os transportes, o turismo etc. (Vianelo, 2011).

As estações meteorológicas podem ser classificadas em dois tipos: as automáticas e as convencionais. A diferença entre estas é a necessidade de uma pessoa para a sua anotação diária. As estações automáticas compreendem a coleta de dados e os registros de forma eletrônica, ou seja, totalmente automatizada. Segundo Vianello (2011), em princípio, as estações meteorológicas automatizadas foram planejadas para complementar a rede básica de estações convencionais, para cobrir regiões de difícil acesso, para suprir a falta de pessoal e para realizar observações fora dos horários padrões. Além disso, visavam aumentar a confiabilidade dos dados e homogeneizar as medições. Segundo este autor, no período em que fez o apontamento, “o futuro pertence a elas, que estão passando

de coadjuvantes a personagens principais. Afinal, já está provado que, com boa manutenção, serão capazes de substituir as estações convencionais”. Atualmente, a questão se refere a limitações de acesso pelo custo das tecnologias mais inovadoras. Para Finholdt e colaboradores (2011) ainda neste mesmo ano, esclareceu que existem diversos modelos de estações meteorológicas automáticas no mercado que medem e registram os dados dos elementos meteorológicos de interesse. Porém, seu uso é limitado por ser uma tecnologia importada de alto custo de aquisição e manutenção, operacionalidade complexa e pequena disponibilidade de suporte técnico. Outros autores como Torres et al. (2015) também destacaram o atual problema inerente às estações meteorológicas automáticas ser o alto custo, que desencoraja o uso destas em diversas aplicações.

Alguns estudos têm sido desenvolvidos na perspectiva de elaboração de protótipos de estações meteorológicas para fins diversos, de baixo custo, tais como: uso para a didática e as metodologias de ensino e aprendizagem para aulas de geografia e climatologia, com sensores de temperatura e umidade (Souza et al.2015); desenvolvimento de uma estação meteorológica automática para manejo de irrigação (Finholdt et al.2011); estação meteorológica baseada em internet das coisas de código aberto e baixo custo como ferramenta para articulação entre novas tecnologias digitais da informação e comunicação no ensino de física na educação básica (Mannrich e Neves, 2021), modelo de estação meteorológica automática simplificada de custos acessíveis (Torres et al.2015); modelo de estação meteorológica para medição de radiação solar e velocidade do vento utilizando o microcomputador Raspberry Pi (2023). O que se observa é que muitas estações meteorológicas não possuem um padrão em relação a quais os parâmetros precisam ser medidos, ou seja, alguns aparelhos medem volume precipitado e umidade, já outras medem temperatura e umidade, ou ainda direção dos ventos. Assim, estes instrumentos são construídos com finalidades distintas, fabricados por tecnologias e materiais constituintes diversos.

Diante de uma infinidade de estações meteorológicas, o presente trabalho tem como proposta elaborar um protótipo multiparâmetros, ou seja, que possua uma gama de sensores adequados a qualquer emprego que precise de dados meteorológicos e forneça baixo custo de montagem para os usuários. O protótipo será capaz de apreender os dados de volume, intensidade e duração de precipitação pluviométrica, pressão atmosférica, temperatura, umidade do ar, radiação solar, velocidade e direção dos ventos, de forma remota, armazenar os dados em um cartão micro SD e transmitir os dados via bluetooth, implementando este protótipo em uma estação de testes.

Conhecida como Internet das Coisas (IoT), a tecnologia conecta os mundos físico e virtual para criar uma nova forma de comunicação entre pessoas e objetos, criando um mundo onde as coisas ao nosso redor se comunicam via internet sem intervenção humana. Assim, estações meteorológicas podem usar a tecnologia IoT para coletar dados e enviá-los para um banco de dados remoto (DE MATOS; AMARAL; HESSEL, 2017).

## **Materiais e Métodos**

### **Estação Meteorológica multiparâmetros com Arduino**

Arduino é uma plataforma de computação física de código aberto que permite que a tecnologia seja compartilhada entre diferentes partes interessadas. O Arduino pode estender sua funcionalidade usando *shields*, que são placas de circuito que, quando fixadas na parte superior do Arduino, permitem novos recursos como GPS, GSM, módulos Ethernet e muito mais. Assim, o Arduino irá ler e controlar diversos sensores e outros *shields* (módulos com funcionalidade adicional ao Arduino) conectados a ele, e após armazenar em um cartão micro-SD (BANZI; SHILOH, 2015).

O conjunto da obra é composto não somente pela parte de hardware, mas também pelo software. Ambos em código aberto, eles podem ser modificados conforme a necessidade do usuário, basta programar usando o software do *Arduino IDE* para contar ao equipamento o que ele deve fazer. Além disso, a parte de software é desenvolvida por meio de linguagem C/C++ e tudo isso acontece em um ambiente gráfico escrito em Java. Ele ainda traz um firmware embutido e que é carregado na memória ROM da placa (MONK, 2017).

## Principais Componentes

Figura 1 – Placa de desenvolvimento ESP-WROOM-32 ESP32 ESP-32S 2,4 GHz modo duplo WiFi + processador microcontrolador Bluetooth Dual Core integrado com antena RF AMP filtro AP STA



Fonte: Modificado Autor (2022).

## Adaptador para cartão SD

O objetivo do projeto é salvar no cartão SD, todos os dados da leitura da estação fazendo um backup dos dados registrados, incluindo a data e horários obtidos através do módulo RTC, a cada minuto. Para que isso fosse possível, foi preciso utilizar um Módulo adaptador para cartão SD, para permitir que o arduíno escrevesse no Cartão SD.

Figura 2 – Módulo adaptador para cartão SD



Fonte: Modificado Autor (2022).

## Módulo Real Time Clock RTC

O módulo RTC foi utilizado no projeto para que se tivesse uma base da data e horários em que foram feitas as medições, O Módulo Real Time Clock RTC DS 32311 é um relógio em tempo real (RTC) que possui calendário completo e conta com 56 Bytes de SRAM. Ele é capaz de fornecer informações de hora, minutos, segundos e dias.

Figura 3 – Módulo RTC



Fonte: Modificado Autor (2022).

Para o funcionamento do Módulo Real Time Clock RTC DS1307 é necessário além da alimentação da placa, uma bateria CR2032 para poder permitir que os dados fiquem armazenados mesmo com a falta de energia. Além disso, o módulo é capaz de detectar falhas de energia e consequentemente acionando a bateria para evitar que os dados sejam perdidos. O módulo também é capaz de ajustar automaticamente o final dos meses que possuem menos de 31 dias, faz a correção de ano bissexto e trabalha tanto no formato de 12 horas quanto 24 horas.

### Bateria

Como o projeto precisaria ser autônomo e ficar fora de uma tomada, optamos por colocar uma bateria 12v que se adapta perfeitamente ao arduíno e Painel Solar Fotovoltaico 10W, que também utiliza 12v para funcionar.

Figura 4 – Bateria 12v 7Ah Selada



Fonte: Modificado Autor (2022).

A princípio, foi escolhida uma bateria de 12v 7Ah da GetPower, bateria muito utilizada em *nobreaks* e sistemas de cercas elétricas.

### Anemômetro

Anemômetro é um equipamento meteorológico que é usado para mensurar a velocidade e a direção do vento. É confeccionado com um tipo de “biruta”, a qual possui internamente um conjunto de 8 sensores (reed com resistores), onde cada um está posicionado em uma localização diferente, apresentando valores de resistências diferentes para cada posição, sendo que estão instalados nas seguintes posições: N - 0°, NE - 45°, E - 90°, SE - 135°, S - 180°, SO - 235°, O - 270° e NO - 315° (YNOUE, 2017).

Figura 5 – Anemômetro



Fonte: Modificado Autor (2022).



## Pluviômetro de Bâscula

É constituído por dois compartimentos, cada qual com capacidade de 0,025 cm de chuva, situados na base de um funil de 25 cm. Quando um dos compartimentos está cheio, ele entorna e se esvazia. Durante este intervalo o outro compartimento toma seu lugar na base do funil. Cada vez que um compartimento entorna, um circuito elétrico é fechado e a quantidade de precipitação é automaticamente registrada num gráfico.

Figura 6 – Pluviômetro de Bâscula

### Pluviômetro de bscula

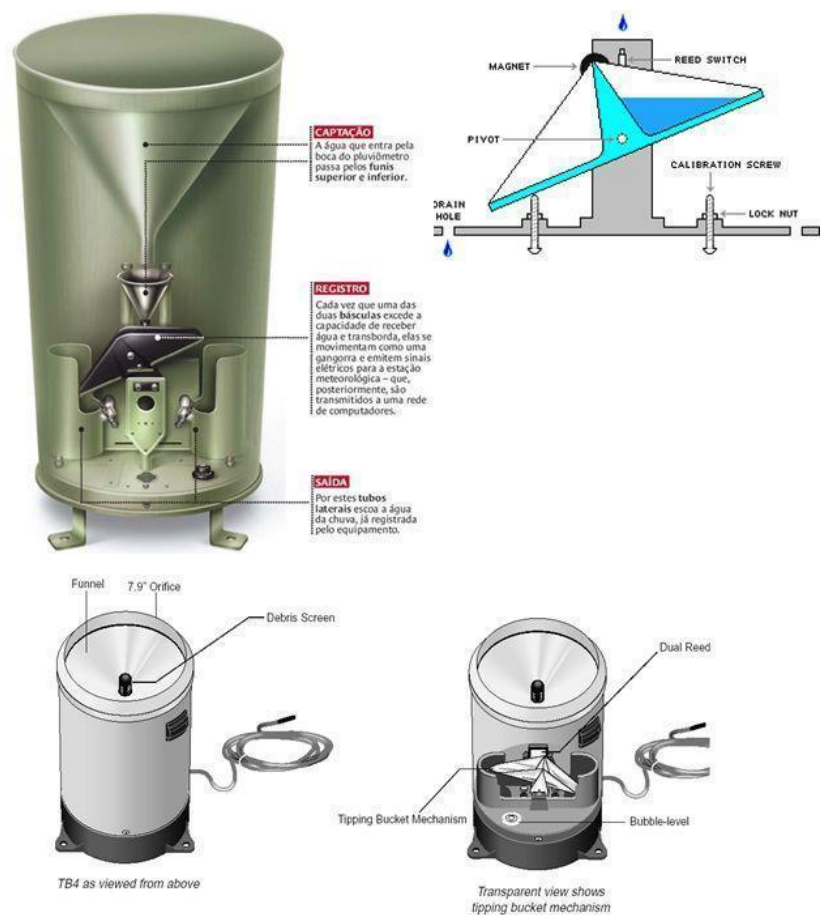
(tipping bucket rain gauge)

#### Componentes

Funil, corpo e base

Mecanismo de bscula dual automático: saída p/ registro de pulso elétrico

Eliminao da gua



Fonte: Mendez et al. (2019)

Foto 7 – Pluviômetro de bscula e sensores de temperatura e umidade da Est  
Meteorolgica



Fonte: Autor (2022).

Foto 8 – Prote pluviomtrica da Est  
Meteorolgica

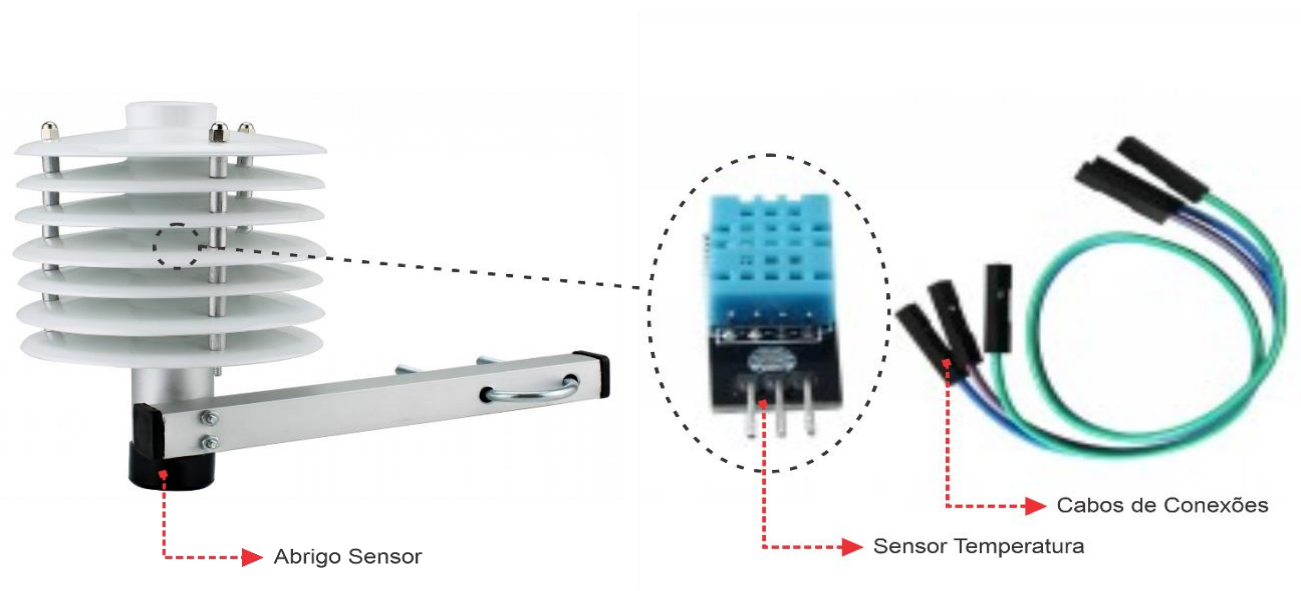


Fonte: Autor (2022).

## Temperatura

Foi instalado um abrigo meteorológico para sensores externos de temperatura, umidade e pressão do ar. No abrigo será inserido um sensor de temperatura SHT20 com Sonda À Prova d'Água - KLDZ88, sendo este um componente eletrônico digital desenvolvido para ser aplicado nos mais diversos ambientes, pois é capaz de medir a temperatura em locais úmidos, inclusive estando submerso na água. Para que ele entre em funcionamento é necessário estar conectado junto a uma plataforma de prototipagem (arduino).

Figura 9 – Conjunto de medição de temperatura e umidade do ar.



Fonte: Modificado Autor (2022).

Ao final dos trabalhos com testes iniciais de laboratório foram utilizados os seguintes componentes:

## Montagem do equipamento

Figura 10 – Montagem protótipo 03 - Serralheria da estrutura da Estação meteorológica e acoplamento dos sensores e componentes



Fonte: Autor (2022).

Figura 11 – Evolução da estrutura da Estação meteorológica e componentes  
Protótipo-1 Protótipo-4



Fonte: Autor (2022).

Foram executados diversos testes e montagens, entre estes, o que mais solicitou esforços foi a determinação do critério de alimentação energética do protótipo. Nos testes

foi possível observar no protótipo-1 (figura 11) que a bateria estacionária de 12v, 9ah; não suportava o funcionamento em tempo integral dos sensores e durava aproximadamente 72 horas de funcionamento, também foi testado o protótipo com uma bateria de lítio 12v 31000mah (figura 12) onde o decaimento energético do sistema foi ainda maior.

Figura 12 – Aprimoramento da montagem eletrônica do protótipo-1, executado com os microcontroladores e bateria 12V de 31000mah.



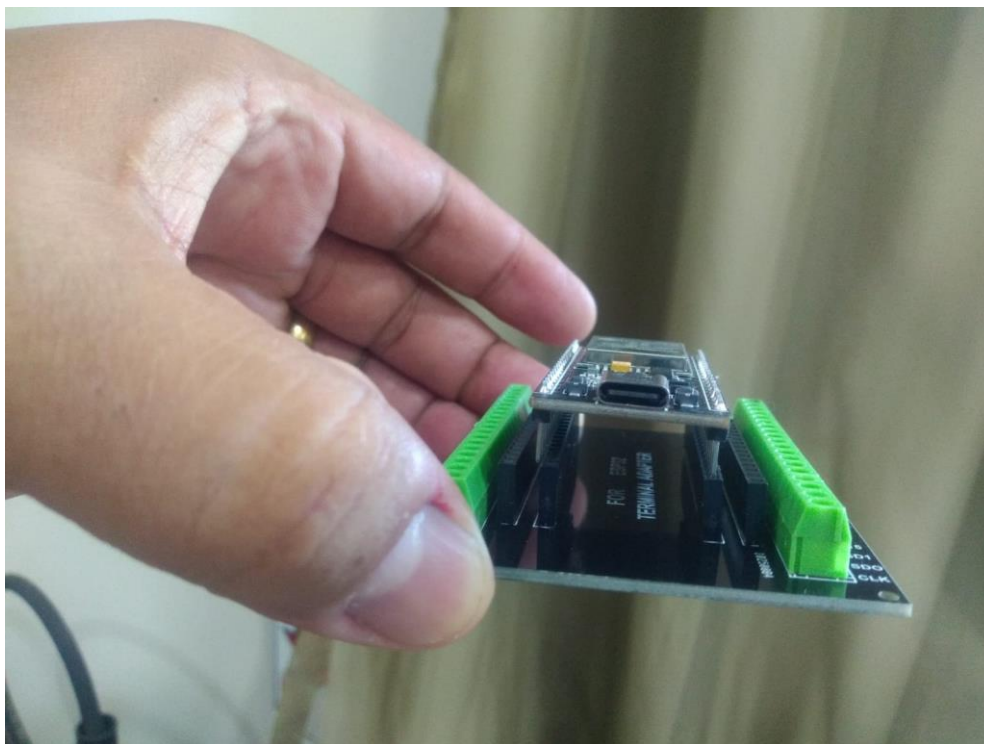
Fonte: Próprio autor (2022).

Foto 13 – Montagem circuito painel solar da Estação Meteorológica



Fonte: Modificado Autor (2022).

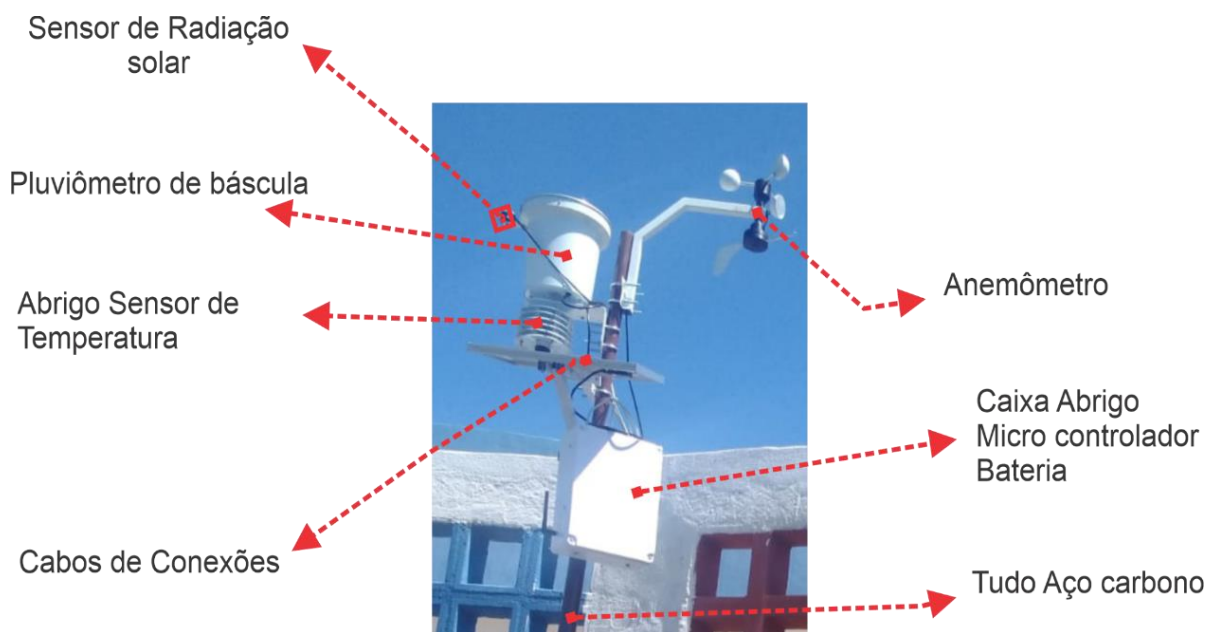
Foto 14 – Microcontrolador e Placa acoplável Esp 32 da Estação Meteorológica



Fonte: Modificado Autor (2023).

Durante os testes através de pesquisas, se obteve êxito a demanda energética com a implementação de uma placa solar com potência de 12V/10w, para recarga da bateria estacionária de 12v, 9ah; alimentando o sistema de forma constante:

Figura 15 – protótipo-4 Conjunto do equipamento montado.



Fonte: Próprio autor (2023).

Quadro 1 - Dispositivos utilizados para a construção da estação meteorológica e seus custos aproximados.

Item	Descrição funcionamento	R\$
ESP32- com Wi-fi e Bluetooth	Microcontrolador utilizado para coletar os dados dos sensores e enviá-los ao servidor responsável por publicar os dados na nuvem.	79,90
Shield para Módulo WiFi ESP8266	Placa acoplável ao microcontrolador que permite a reconfiguração dos pinos de entrada/saída do Node MCU, possibilita o uso de mais sensores simultâneos deixando o projeto organizado e seguro.	25,00
Sensor DHT11	Para medir a temperatura nas escalas de 0 a 50° graus celsius e a umidade do ar nas faixas de 20 a 90%.	15,10
Jumpers fêmea-fêmea	Para conectar os sensores ao Motor Shield	7,51
Módulo Leitor Gravador Micro Sd	O SD card Arduino trata-se de um módulo que possui integrado um leitor de cartão Micro SD	8,88
DS3231 é um módulo RTC (Real Time Clock)	É usado para manter a data e a hora da maioria dos projetos eletrônicos. Este módulo tem sua própria fonte de alimentação de célula tipo moeda,	33,16
Pluviômetro de Bâscula Digital Arduino para Estação Meteorológica	É um módulo mecânico eletrônico desenvolvido especialmente para a construção de estações meteorológicas, atuando no monitoramento da quantidade precipitação de chuvas	445,55
Anemômetro Arduino + Indicador de Direção do Vento SVDV10	É uma solução eletrônica simplificada que reúne em um único produto dos itens essenciais para monitoramento em estações meteorológicas, possibilitando definir com precisão a velocidade e a direção que o vento está soprando em tempo real	663,10
Alojamento do Sensor de Temperatura e Umidade para Estação Meteorológica	Alojamento do Sensor Temperatura para Estação Meteorológica Arduino conta com um tubo com diâmetro de 29mm, no qual o projetista pode instalar o sensor responsável pela coleta dos dados em seu interior.	455,05

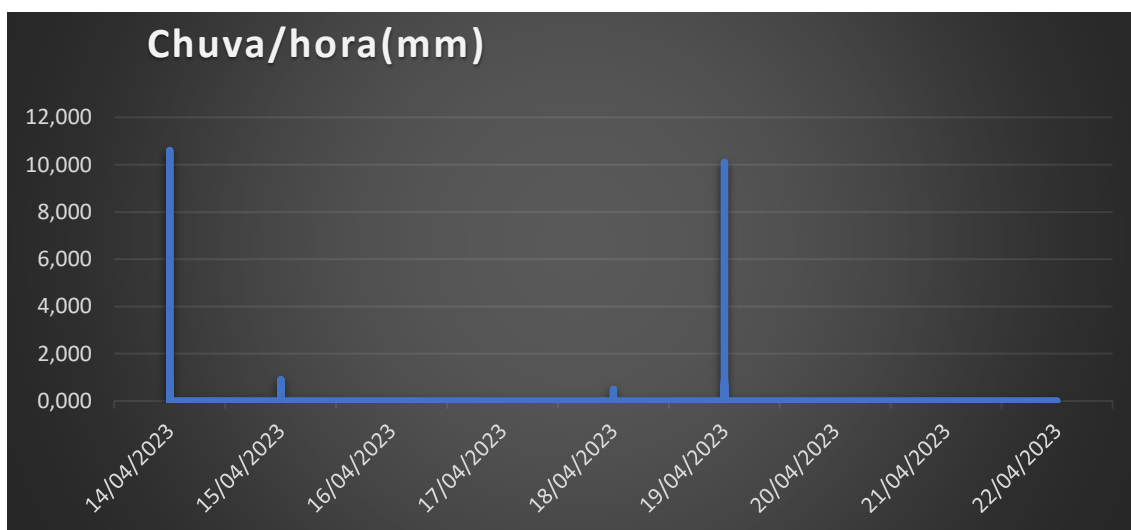
Painel Solar Fotovoltaico 10W - Resun RSM010-P	É utilizado para a geração de energia sustentável por meio da luz do sol, funciona para carregar a bateria de 12V, que mantém alimentação constante do sistema.	143,29
Bateria Moura Vrla 12v 7ah Estacionária Alarme No Break	Sistema objetivo de oferecer uma quantidade constante de corrente por um longo período.	158,34
10m Cabo flexível para eletrônica 0,50mm <sup>2</sup>	Interligações dos Sistema e componentes eletrônicos	22,15
Caixa De Passagem De Sobrepor	Proteção das peças eletrônicas, bateria e acessórios	98,60
Tudo 1,5 polegadas aço carbono e acessórios	Implantação no sistema e ancoragem de peças e parafusos	158,60
<b>VALOR TOTAL R\$ 2.314,23</b>		

\* Custo relativo insumos 08/2022

## MEDIÇÃO E TESTES

Foram executados os testes entre os dias 14/04/2023 e 22/04/2023 onde foi possível executar medições diversas dos sensores conforme gráficos abaixo:

Gráfico 1 – Medição chuva mm/hora



Fonte: Próprio autor (2023).



Gráfico 2 – Medição Temperatura e Umidade

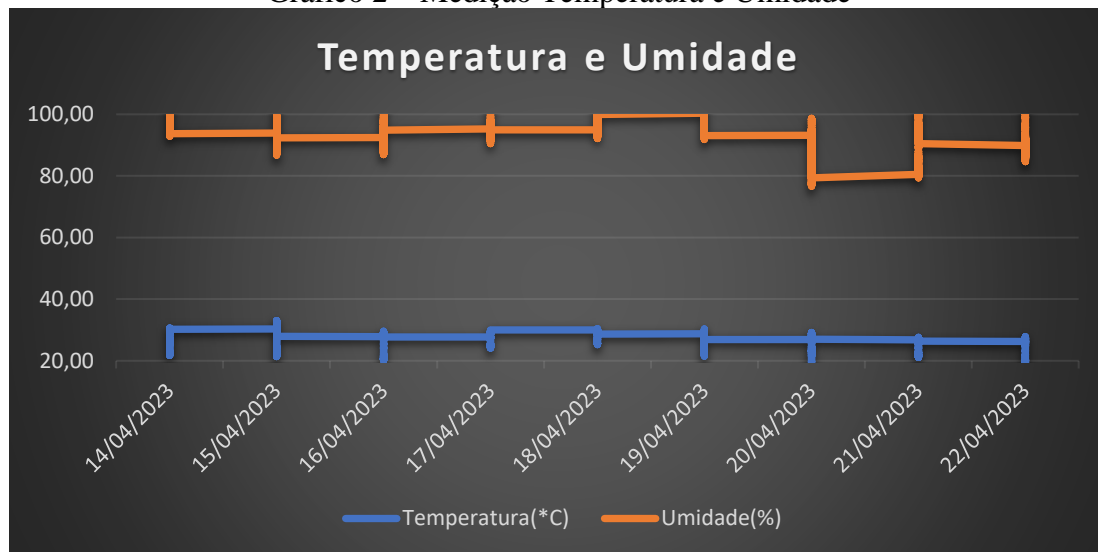


Gráfico 3 – Medição Vento e Velocidade do vento

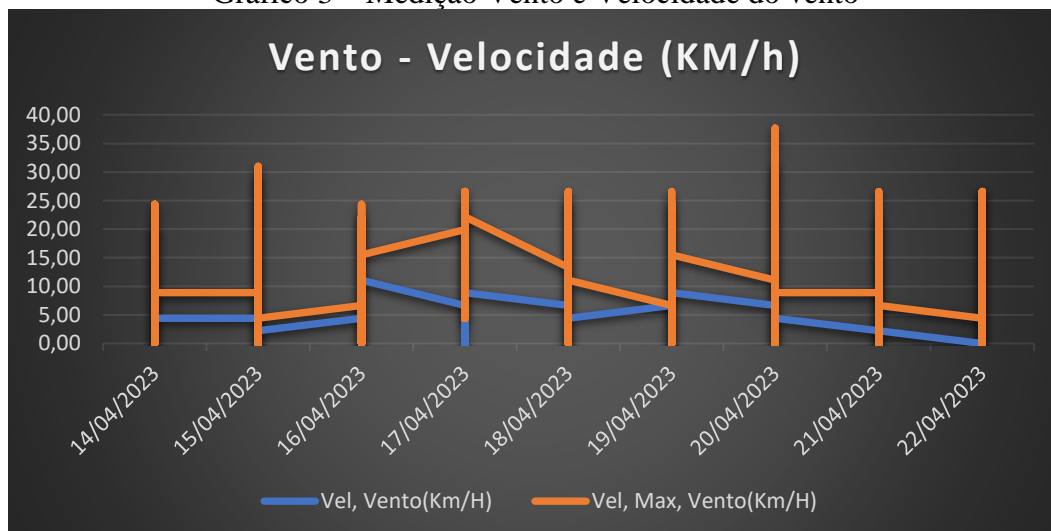
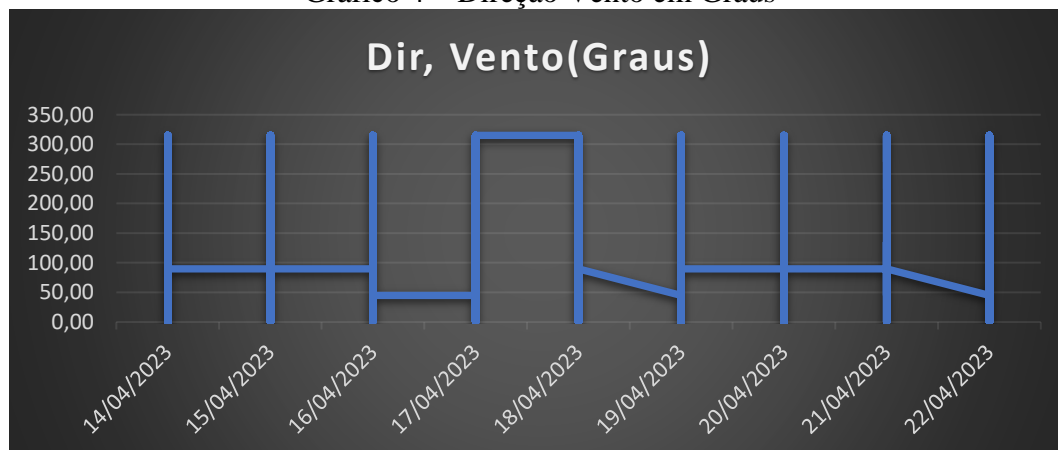


Gráfico 4 – Direção Vento em Graus



## **Discussão**

O arduino foi desenvolvido em um sistema embarcado, que recebia os dados para realizar o cálculo. A implementação do software de tal sistema foi desenvolvida na linguagem C, utilizando a IDE do Arduino, seguindo o modelo iterativo incremental. Esse modelo trata cada pequena parte do sistema como uma iteração, em que são realizadas as etapas de análises, projeto, implementação e testes. Segundo Teles (2017), esse tipo de sistema “começa a ser implementado logo no início do projeto e vai ganhando novas funcionalidades ao longo do tempo”.

Foi realizado o levantamento dos requisitos mínimos necessários para que o sistema pudesse alcançar os objetivos propostos, ficando definido que o sistema embarcado deveria ser capaz de registrar os dados obtidos em um cartão de memória Micro SD, para posteriormente pudessem ser transferidos os dados via bluetooth e armazenados e posteriormente consultados em um computador.

Além disso, o módulo real time, forneceu a necessidade de que ele possa obter informações de data e hora mesmo sem acesso ao servidor quando é ligado. Assim, o protótipo do sistema embarcado foi desenvolvido para ser capaz de consultar as horas e datas. O sistema também deve receber as informações de temperatura vindas de um sensor para a realização dos cálculos da evapotranspiração diária.

## **Considerações Finais**

A estação meteorológica desenvolvida com equipamentos de baixos custos obteve o desembolso financeiro total em sua montagem no total de R\$2.314,23 (dois mil, trezentos e quatorze reais e vinte três centavos) com aquisição de componentes desenvolvidos no mercado nacional. Além disso, apresentou bons resultados em testes de laboratório onde foram feitos com pluviômetro em Escala 0 a 150 mm e termo anemômetro Digital Portátil INS-1382. As medições foram variando de acordo com as condições expostas nos testes.

Para trabalhos futuros se sugere a implementação de módulos para transmissão automatizada enviando dados para o servidor por meio de requisições HTTP. Assim, o sistema embarcado será capaz de comunicar com um servidor, para que os dados obtidos por ele possam ser armazenados e posteriormente consultados em um computador. Assim, a tecnologia facilitará o acompanhamento em tempo real dos dados medidos, além

do monitoramento do funcionamento do equipamento sem necessidade de estar constantemente no local. Comprovadas as qualidades do sistema, para o próximo estudo pretende-se realizar um experimento em ambiente externo. Desta forma, será possível aprofundar a análise da qualidade dos resultados produzidos desta estação meteorológica deste tipo, com a confirmação da qualidade dos dados neste futuro experimento.

Dessa forma, conclui-se que o equipamento desenvolvido atende aos requisitos técnicos e operacionais de utilização ambiental. Porém, por ser um protótipo, não é uma substituição dos equipamentos similares já existentes no mercado, para isso será necessário testes em laboratórios credenciados e certificados nacionalmente e internacionalmente que validem o seu funcionamento.

## Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Gestão da Rede Hidrometeorológica. Disponível em: <http://www2.ana.gov.br/Paginas/institucional/SobreaAna/hidroweb.aspx>. Acesso em: 16 Nov. 2022.

ALVIM, C. E. Quase 30% das estações meteorológicas do Brasil estão sem manutenção. G1 Minas Gerais. 19/07/2021. Disponível em: <https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2021/07/19/quase-30percent-das-estacoes-meteorologicas-do-brasil-estao-sem-manutencao.ghtml> Acesso em: 12abr

BANZI, M. SHILOH, M. Primeiros Passos com o Arduino. 2ª Edição: A plataforma de prototipagem eletrônica open source. Novatec Editora, 2015.

DE MATOS, E. AMARAL, L. A. HESSEL, F. Sistemas sensíveis ao contexto: tecnologias e desafios na internet de todos os ambientes. Cham: Springer, 2017. p. 1-25.

FINHOLDT, G. F.; MANTOVANI, E.; MANTOVANI, C.; SEDIYAMA, G. C.; RAMOS, M. M.; VIEIRA, G. H. S. Desenvolvimento de uma estação meteorológica automática para manejo de irrigação. Engenharia na agricultura, Viçosa - MG, V.19 N.4, JULHO / AGOSTO 2011.

GOMES, R. Tecnologia agrícola: a importância e principais inovações. 2016. Disponível em: <https://pixforce.com.br/tecnologia-agricola/>. Acesso em: 12 Abr. 2023.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. Instrumentos Meteorológicos. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=instrumentos>. Acesso em: 27 mar. 2023.

INMET, INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Sobre meteorologia. 2021. Disponível em <http://www.inmet.gov.br/portal/>. Acesso em: 12 de dez. 2021.

MANNRICH, J. P. & NEVES, O. da R. Proposta de Estação Meteorológica baseada em Internet das Coisas de Código Aberto e Baixo Custo como Ferramenta para Articulação entre novas Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação no Ensino de Ciências/Física na Educação Básica. *Revista Novas Tecnologias na Educação* V. 19, n.2, Dezembro, 2021.

MENEZES, A. C. dos S. Desenvolvimento e calibração de pluviômetros automáticos de baixo custo. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Juazeiro – BA, 2019.

MONK, S. Programação com Arduino: começando com Sketches. Bookman Editora, 2017.

PONCE-JARA, M., GORDILLO, C. A. C., VELÁSQUEZ, C., LAZO, J. G. L. ., & TALAVERA, A. redes neurais para previsão de radiação solar em manta – equador. *Revista Campo Da História*, 8(1), 183–194. 2023.

SOUZA, R. R.; ANTUNES, J. P. CABRAL, I. .2015. Estação meteorológica experimental de baixo custo. *Geo UERJ*, Rio de Janeiro, n. 27, 2015, p. 80-97

TELES, V. M. *Extreme Programming: Aprenda como encantar seus usuários desenvolvendo software com agilidade e alta qualidade*. [S.l.]: Novatec Editora, 2017. 10

TORRES, J. D.; MONTEIRO, I. O. SANTOS, J. R. ORTIZ, M. S. Aquisição de dados meteorológicos através da plataforma Arduino: construção de baixo custo e análise de dados. *SCIENTIA PLENA*. VOL.11, N. 2. 2015.

YNOUE, R. Y. *Meteorologia: Noções Básicas*. São Paulo: Oficina de Textos, 2017. 40 p

O que são Pluviômetros? Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais, 2013. Disponível em: [http://www2.cemaden.gov.br/o-que-sa-o-pluviometros/#:~:text=O%20pluvi%C3%B4metro%20%C3%A9%20um%20instrumento,mostrada%20em%20mil%C3%ADmetros%20\(mm\)](http://www2.cemaden.gov.br/o-que-sa-o-pluviometros/#:~:text=O%20pluvi%C3%B4metro%20%C3%A9%20um%20instrumento,mostrada%20em%20mil%C3%ADmetros%20(mm).). Acesso em: 27 mar. 2023.

VIANELO, R. L. A ESTAÇÃO METEOROLÓGICA E SEU OBSERVADOR Uma parceria secular de bons serviços prestados à humanidade. <https://portal.inmet.gov.br/uploads/publicacoesDigitais/aestacaometeorologicaeseuobservador.pdf>

## Apêndice – 1 - Programação

Segue a programação feita no Arduino onde foi possível enviar os dados para a planilha do Google, o programa foi adequado com base em outros códigos disponíveis. Este exemplo está na IDE do Arduino.

Os códigos são para receber as informações dos sensores que são capazes de computar o horário da medição, guardá-las no cartão SD/Pen Drive e imprimir na Internet.

### Sensor Ultrassônico – Arduino

VCC – 5V

TRIG – 5~

ECHO – 4

GND –

GND

### *Cartão SD – Arduino*

GND –

3V3 –

5V – 5V

CS – 4

MOSI – 12

SCK – 13

MISO – 11

GND –

GND

### Código compilado no Arduino Uno R3

```
#include
```

```
<NewPing.h>
```

```
#include <SPI.h>
```

```
#include <SD.h>
```

```
#define TRIGGER_PIN 7 // Arduino pin tied to trigger pin on ping
sensor. #define ECHO_PIN 8 // Arduino pin tied to echo pin on
ping sensor.
```

```
#define MAX_DISTANCE 400 // Maximum distance we want to ping for (in
centimeters). Maximum sensor distance is rated at 400-500cm.
```

```
NewPing sonar(TRIGGER_PIN, ECHO_PIN, MAX_DISTANCE); // NewPing
setup of pins and maximum distance.
```

```
//unsigned long time;
```

```
const int chipSelect =
```

```
4;
```

```
unsigned int pingSpeed = 50; // How frequently are we going to send out a
ping (in milliseconds). 50ms would be 20 times a second.
```

```
unsigned long pingTimer; // Holds the next ping
time. int cont;
```

```
void setup() {
```

```
Serial.begin(9600); // Open serial monitor at 115200 baud to see ping
results. pingTimer = millis(); // Start now.
```

```
while (!Serial) {
```

```
; // wait for serial port to connect. Needed for native USB port only
```

```
}
```

```
Serial.print("Initializing SD card...");
```

```
// see if the card is present and can be
initialized: if (!SD.begin(chipSelect)) {
```

```
Serial.println("Card failed, or not present");
```

```
// don't do anything more:
```

```
while (1);
```

```
}
```

```
Serial.println("card initialized.");
```

```
}
```

```
void loop() {
```

```

// Notice how there's no delays in this sketch to allow you to do other processing in-line
while doing distance pings.
if (millis() >= pingTimer) { // pingSpeed milliseconds since last ping, do another
ping. pingTimer += pingSpeed;    // Set the next ping time.
    sonar.ping_timer(echoCheck); // Send out the ping, calls "echoCheck" function
every 24uS where you can check the ping status.
}
// Do other stuff here, really. Think of it as multi-tasking.

// make a string for assembling the data to
log: String dataString = "";
// open the file. note that only one file can be open at a time,
// so, you have to close this one before opening
another. File datafile = SD.open("datalog.txt",
FILE_WRITE); delay(5000);

// if the file is available, write to it:
if (datafile) { datafile.
Print("Altura: ");
datafile.      Print(sonar.ping_result      /
US_ROUNDTRIP_CM); dataFile.println(" cm");
dataFile.close()
;
delay(600000);
}
// if the file isn't open, pop up an error: else {
Serial.println("error      opening
datalog.txt"); delay(600);
}
}

void echoCheck() { // Timer2 interrupt calls this function every 24uS where you can
check the ping status.
// Don't do anything here!

```

```

if (sonar.check_timer()) { // This is how you check to see if the ping was received.
// Here's where you can add code.
Serial.print("Altura: ");
    Serial.print(sonar.ping_result / US_ROUNDTRIP_CM); // Ping returned, uS
result in ping_result, convert to cm with US_ROUNDTRIP_CM.
Serial.println(" cm");
// Don't do anything here!
}
}

```

### **Código compilado no Arduino Uno R3**

```

#include <DS3231.h> (Inclusão de bibliotecas)
#include <SPI.h>
#include <SD.h>

#define vcc 17
#define gnd 16

DS3231 rtc(SDA, SCL); (Definir variáveis)
Time t;
int horas, ano;
int val = 0;
float resultado = 0;

const int chipSelect = 4;

void setup() {
    pinMode(vcc, OUTPUT);          (Configurando portas do RTC)
    pinMode(gnd, OUTPUT);
    digitalWrite(vcc, HIGH);
    digitalWrite(gnd, LOW);
    // Open serial communications and wait for port to open: (Iniciando o Módulo de cartão SD)
    Serial.begin(9600);

```



```
while (!Serial) {
  ; // wait for serial port to connect. Needed for native USB port only
}
```

```
Serial.print("Initializing SD card...");      (Testando cartão SD)
```

```
// see if the card is present and can be initialized:
```

```
if (!SD.begin(chipSelect)) {
  Serial.println("Card failed, or not present");
  // don't do anything more:
  while (1);
}
```

```
Serial.println("card initialized.");
```

```
rtc.begin();          //Inicializa RTC
```

//Descomente as linhas a seguir para configurar o horário, após comente e faça o upload novamente para o Arduino

```
//rtc.setDOW(WEDNESDAY); // Set Day-of-Week to SUNDAY (Inserindo a data
no RTC)
```

```
//rtc.setTime(00,04, 0); // Set the time to 12:00:00 (24hr format)
```

```
//rtc.setDate(26,7,2022);
```

```
} //end setup
```

```
void loop() {
```

```
File dataFile = SD.open("datalog.txt", FILE_WRITE); (Preparando para ler o cartão SD)
```

```
val = analogRead(A0); //Mede a pressão
```

```
resultado = val - 93; //Assimila pressão e Nivel em cm
```

```
// open the file. note that only one file can be open at a time,
```

```

// so, you have to close this one before opening another.

// if the file is available, write to it:
if (dataFile) {
  dataFile.println("=====");      (Configurando o que será escrito no
cartão SD)
  dataFile.println(rtc.getTimeStr());
  dataFile.println(rtc.getDateStr());
  dataFile.print(resultado);
  dataFile.println(" cm");
  dataFile.close();
  // print to the serial port too:
  Serial.println("=====");
  Serial.println(rtc.getDateStr());
  Serial.println(rtc.getTimeStr());
  Serial.print(resultado);
  Serial.println(" cm");

  delay(600000);      (Realizar essa ação a cada 10 minutos)
}
// if the file isn't open, pop up an error:
else {
  Serial.println("error opening datalog.txt");
}
t = rtc.getTime();    (Variáveis para o funcionamento do RTC)
horas = t.hour;
ano = t.year;
}

```

**Sensor Ultrassônico – Arduino**

VCC – 5V

TRIG – 5~

ECHO – 4

GND –

GND

**Cartão SD – Arduino**

GND –

3V3 –

5V – 5V

CS – 4

MOSI – 12

SCK – 13

MISO – 11

GND –

GND

**Código compilado no Arduino Uno R3**

#include

&lt;NewPing.h&gt;

#include &lt;SPI.h&gt;

#include &lt;SD.h&gt;

```
#define TRIGGER_PIN 7 // Arduino pin tied to trigger pin on ping
sensor. #define ECHO_PIN 8 // Arduino pin tied to echo pin on
ping sensor.
```

```
#define MAX_DISTANCE 400 // Maximum distance we want to ping for (in
centimeters). Maximum sensor distance is rated at 400-500cm.
```

```
NewPing sonar(TRIGGER_PIN, ECHO_PIN, MAX_DISTANCE); // NewPing
setup of pins and maximum distance.
```

```
//unsigned long time;
const int chipSelect =
4;
unsigned int pingSpeed = 50; // How frequently are we going to send out a
ping (in milliseconds). 50ms would be 20 times a second.
unsigned long pingTimer; // Holds the next ping
time. int cont;

void setup() {
Serial.begin(9600); // Open serial monitor at 115200 baud to see ping
results. pingTimer = millis(); // Start now.
while (!Serial) {

; // wait for serial port to connect. Needed for native USB port only
}

Serial.print("Initializing SD card...");

// see if the card is present and can be
initialized: if (!SD.begin(chipSelect)) {
Serial.println("Card failed, or not present");
// don't do anything more:
while (1);
}
Serial.println("card initialized.");
}

void loop() {
// Notice how there's no delays in this sketch to allow you to do other processing in-line
while doing distance pings.
if (millis() >= pingTimer) { // pingSpeed milliseconds since last ping, do another
ping. pingTimer += pingSpeed; // Set the next ping time.
sonar.ping_timer(echoCheck); // Send out the ping, calls "echoCheck" function every
24uS where you can check the ping status.
```

```

}
// Do other stuff here, really. Think of it as multi-tasking.

// make a string for assembling the data to
log: String dataString = "";
// open the file. note that only one file can be open at a time,
// so, you have to close this one before opening
another. File dataFile = SD.open("datalog.txt",
FILE_WRITE); delay(5000);

// if the file is available, write to it:
if (dataFile) {
dataFile.print("Altura:
");
dataFile.print(sonar.ping_result /
US_ROUNDTRIP_CM); dataFile.println(" cm");
dataFile.close()
;
delay(600000);
}
// if the file isn't open, pop up an error: else {
Serial.println("error opening
datalog.txt"); delay(600);
}
}

void echoCheck() { // Timer2 interrupt calls this function every 24uS where you can
check the ping status.
// Don't do anything here!
if (sonar.check_timer()) { // This is how you check to see if the ping was received.
// Here's where you can add code.
Serial.print("Altura: ");
Serial.print(sonar.ping_result / US_ROUNDTRIP_CM); // Ping returned, uS
result in ping_result, convert to cm with US_ROUNDTRIP_CM.

```

```
Serial.println(" cm");
// Don't do anything here!
}
}
```

### **Programação – Ligação Física**

Transmissor de Nível Hidrostático

*VCC - 5v*

*GND - GND*

*Analogue – Porta analógica A0*

*Cartão SD – Arduino*

*5V – 5V*

*CS – 4*

*MOSI – 12*

*SCK – 13*

*MISO – 11*

*GND – GND*

Módulo Real Time (RTC) – Arduino

*VCC – Pino analógico 4*

*GND – Pino analógico 3*

*Miso – Pino analógico 2*

*Mosi – Pino analógico 1*

### **Código compilado no Arduino Uno R3**

```
#include <DS3231.h> (Inclusão de bibliotecas)
```

```
#include <SPI.h>
```

```
#include <SD.h>
```

```
#define vcc 17
```

```
#define gnd 16
```

```

DS3231 rtc(SDA, SCL); (Definir variáveis)
Time t;
int horas, ano;
int val = 0;
float resultado = 0;

const int chipSelect = 4;

void setup() {
  pinMode(vcc, OUTPUT);          (Configurando portas do RTC)
  pinMode(gnd, OUTPUT);
  digitalWrite(vcc, HIGH);
  digitalWrite(gnd, LOW);
  // Open serial communications and wait for port to open: (Iniciando o Módulo de
cartão SD)
  Serial.begin(9600);
  while (!Serial) {
    ; // wait for serial port to connect. Needed for native USB port only
  }

  Serial.print("Initializing SD card...");      (Testando cartão SD)

  // see if the card is present and can be initialized:
  if (!SD.begin(chipSelect)) {
    Serial.println("Card failed, or not present");
    // don't do anything more:
    while (1);
  }
  Serial.println("card initialized.");

  rtc.begin();          //Inicializa RTC

  //Descomente as linhas a seguir para configurar o horário, após comente e faça o upload
  novamente para o Arduino

```

```
//rtc.setDOW(WEDNESDAY); // Set Day-of-Week to SUNDAY (Inserindo a
data no RTC)
```

```
//rtc.setTime(00,04, 0); // Set the time to 12:00:00 (24hr format)
```

```
//rtc.setDate(26,7,2022);
```

```
} //end setup
```

```
void loop() {
```

```
File dataFile = SD.open("datalog.txt", FILE_WRITE); (Preparando para ler o cartão
SD)
```

```
val = analogRead(A0); //Mede a pressão
```

```
resultado = val - 93; //Assimila pressão e Nivel em cm
```

```
// open the file. note that only one file can be open at a time,
```

```
// so, you have to close this one before opening another.
```

```
// if the file is available, write to it:
```

```
if (dataFile) {
```

```
dataFile.println("====="); (Configurando o que será escrito no
cartão SD)
```

```
dataFile.println(rtc.getTimeStr());
```

```
dataFile.println(rtc.getDateStr());
```

```
dataFile.print(resultado);
```

```
dataFile.println(" cm");
```

```
dataFile.close();
```

```
// print to the serial port too:
```

```
Serial.println("=====");
```

```
Serial.println(rtc.getDateStr());
```

```
Serial.println(rtc.getTimeStr());
```

```
Serial.print(resultado);
```

```
Serial.println(" cm");
```



```
    delay(600000);      (Realizar essa ação a cada 10 minutos)
  }
  // if the file isn't open, pop up an error:
  else {
    Serial.println("error opening datalog.txt");
  }
  t = rtc.getTime();   (Variáveis para o funcionamento do RTC)
  horas = t.hour;
  ano  = t.year;
}
```