

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
ENG. DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

MATHEUS MACHADO PEREIRA - 00218355

**PROTÓTIPO DE UMA PLATAFORMA DE
COLETA DE DADOS HIDROLÓGICOS**

Porto Alegre
2022

MATHEUS MACHADO PEREIRA - 00218355

**PROTÓTIPO DE UMA PLATAFORMA DE
COLETA DE DADOS HIDROLÓGICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC-CCA) apresentado à COMGRAD-CCA da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como parte dos requisitos para a obtenção do título de *Bacharel em Eng. de Controle e Automação*.

ORIENTADOR:

Prof. Dr. Marcelo Götz

CO-ORIENTADOR(A):

Prof. Dr. Bibiana Maitê Petry Ferraz

Porto Alegre
2022

MATHEUS MACHADO PEREIRA - 00218355

**PROTÓTIPO DE UMA PLATAFORMA DE
COLETA DE DADOS HIDROLÓGICOS**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para a obtenção dos créditos da Disciplina de TCC do curso *Eng. de Controle e Automação* e aprovado em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Orientador: _____

Prof. Dr. Marcelo Götz , UFRGS

Doutor pela Universidade de Paderborn - Paderborn, Alemanha

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Marcelo Götz , UFRGS

Doutor pela Universidade de Paderborn - Paderborn, Alemanha

Prof. Dr. Valner João Brusamarello , UFRGS

Doutor pela Universidade Federal de Santa Catarina - Florianópolis, Brasil

Prof. Dr. Rafael Antonio Comparsi Laranja , UFRGS

Doutor pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Porto Alegre, Brasil

Mário Roland Sobczyk Sobrinho

Coordenador de Curso

Eng. de Controle e Automação

Porto Alegre, maio de 2022.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha família, em especial a minha filha Sophie que sem entender muito o mundo me fez querer ser minha melhor versão.

"A imaginação muitas vezes nos leva a mundos que nunca existiram, mas sem isso nós não vamos a lugar algum."

Carl Sagan

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu velho pai, por todos os ensinamentos, amor e principalmente por ser meu principal exemplo.

A minha mãe, pelo amor, carinho, cuidados e por ter escolhido ser minha guia espiritual nessa mestra jornada chamada Vida.

As minhas irmãs, Marla e Josi, pelo companheirismo, confiança, e por minhas melhores memórias da infância.

A minha família, por todos os momentos vívidos e por me mostrarem que para tudo se dá um jeito desde que estejamos unidos.

Aos meus amigos, que durante toda a minha trajetória de vida sempre se fizeram presentes e que, de alguma forma, contribuíram para o meu crescimento pessoal e profissional.

Ao meu tio Fábio e minha tia Neca, pois de braços abertos me tornaram parte da família e pelos milhares de abraços e frases que me confortaram nos piores momentos.

Aos meus colegas de graduação, principalmente ao meu colega Samuel que passou por todos os "perrengues" junto comigo se tornando um grande amigo.

Agradeço aos meus bichos de estimação que alegam a minha casa, aos meus cães, meus gatos, e ao Smeagol o melhor gatos de todos do qual sempre sentirei saudades.

Por fim agradeço a Deus, por ter me permitido vivenciar todos os momentos.

RESUMO

O monitoramento do comportamento das águas nos continentes é de fundamental importância para auxiliar na gestão de uso destes recursos hídricos que estão empregados a geração de energia, agronegócio, abastecimento de cidades e demais setores usuários. Nos dias atuais as medições no âmbito da hidrometria são feitas por aparelhos eletrônicos que coletam tais dados. Desta forma, o presente trabalho desenvolve o protótipo de um registrador de dados hidrológicos. A validação do protótipo foi feita junto a uma plataforma de testes desenvolvida para esta finalidade. Por fim, o registrador de dados desenvolvido se mostrou suficiente como alternativa para aquisição e armazenamento de dados de nível de corpos d'água e volume de chuva.

Palavras-chave: Engenharia Elétrica, Automação e Controle, Hidrometria, Protótipo, Registrador de dados.

ABSTRACT

Monitoring the behavior of water on the continents is of fundamental importance to assist in the management of the use of these water resources since they are used in energy generation, agribusiness, supply to cities and other user sectors. Nowadays, measurements in the scope of hydrometry are made by electronic devices that collect such data. Thereby, the present work develops the prototype of a hydrological datalogger. The validation of the prototype was carried out with a test platform developed for this purpose. Finally, the developed datalogger proved to be quite satisfactory as a low-cost alternative for the acquisition and storage of water level and rainfall data.

Keywords: Electrical Engineering, Signal Processing, Automation and Control, Hydrometry, Prototype, Datalogger..

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES	9
LISTA DE TABELAS	11
LISTA DE ABREVIATURAS	12
1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Objetivo Geral	14
1.2 Objetivos Específicos	14
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1 Registrador de Dados	16
2.2 Sensor de Chuva	17
2.3 Sensor de Nível	19
2.4 Controlador de Carga	20
2.5 Bateria Estacionária	20
2.6 Antena	20
2.7 Painel Solar	21
2.8 Protocolos de Comunicação	21
2.8.1 UART	21
2.8.2 I2C	22
2.8.3 SPI	23
3 MATERIAIS E MÉTODOS	25
3.1 STM32	26
3.1.1 Características Técnicas	26
3.1.2 Ambiente de Desenvolvimento Integrado	26
3.2 Relógio de Tempo Real	27
3.3 Entradas Digitais	29
3.4 Entradas Analógicas	30
3.5 Cartão SD	31
3.6 Display OLED	32
3.7 Comunicação Serial	33
3.8 Estruturas de Dados	34
3.9 Alimentação	35
3.10 Firmware	36
3.11 Protótipo	37

4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	38
4.1	Instalação em Campo	38
4.2	Testes Realizados	38
4.3	Implementações Futuras	42
5	CONCLUSÕES	43
	APÊNDICE A - DIAGRAMA DE CONEXÕES DO DATALOGGER UTILIZANDO O SOFTWARE KICAD 6.0	44
	REFERÊNCIAS	45

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

1	Ilustração de uma plataforma de coleta de dados hidrológicos.	16
2	Registrador de dados CR1000X da Campbell Scientific.	16
3	Ilustração da unidade de medida utilizada para mensurar a quantidade de chuva.	17
4	Sensor de precipitação pluviométrica PluvDB da DualBase.	18
5	Sensor de precipitação pluviométrica PluvDB da DualBase.	18
6	Sensor de pressão submersível LimniDB da DualBase.	19
7	Ilustração do funcionamento de um <i>strain gauge</i> utilizado como sensor de pressão. a) Pressão de referência maior que a pressão aplicada, sem deformação no <i>strain gauge</i> . b) Pressão aplicada maior que a pressão de referência, <i>strain gauge</i> sofre deformação.	19
8	Controlador de carga SHS 10 da Morningstar.	20
9	Terminal de satélite ST6100 da Orbcomm.	20
10	Módulo fotovoltaico POLI cristalino da 3T Solar Engenharia.	21
11	Conexões necessárias para estabelecer uma comunicação via protocolo UART.	22
12	Estrutura de um pacote de dado do protocolo UART.	22
13	Estrutura de barramentos de um canal de comunicação I2C.	23
14	Diagrama de tempo do protocolo I2C.	23
15	Estrutura de conexão entre o mestre e os escravos do protocolo SPI.	23
16	Diagrama de tempo do protocolo SPI.	24
17	Diagrama das funções principais do registrador de dados.	26
18	Diagrama de pinos da plataforma de desenvolvimento Blue Pill.	27
19	Diagrama de conexões do RTC DS1302.	28
20	Diagrama de conexões para a leitura do sinal de chuva utilizando um optoacoplador.	29
21	Diagrama de conexões para a leitura da tensão na bateria.	30
22	Diagrama de conexões para a leitura do sensor de nível.	31
23	Módulo de cartão SD do datalogger.	31
24	Diagrama de conexões para a comunicação com o cartão SD.	32
25	Display Gráfico OLED de 0.96 polegadas.	32
26	Diagrama de conexões para o funcionamento do display OLED.	33
27	Módulo Conversor MAX3232 com DB9.	33
28	Diagrama de conexões para o módulo Conversor MAX3232 com DB9.	34
29	Estrutura dos dados salvos no cartão SD e enviadas via satélite.	34
30	Regulador de tensão LM7805.	35

31	Diagrama de conexões para proteção contra a inversão da polaridade na alimentação do <i>datalogger</i>	35
32	Rotinas do <i>firmware</i> inserido no protótipo. (a) Diagrama de blocos da rotina principal; (b) Diagrama de blocos da rotina de interrupção para o sinal de chuva.	36
33	Montagem final da placa de circuito impresso em uma caixa de proteção. (a) Visão do painel frontal da caixa com display, leds indicativos e conector DB9 para o modem; (b) Visão interna da caixa com as conexões do painel frontal na placa.	37
34	Instalação do datalogger em uma estação de testes da empresa Água e Solo Estudos e Projetos LTDA.	39
35	Dados obtidos no período de 25/02/22 à 02/03/22 para o nível de: (a) bateria da estação hidrométrica; (b) coluna d'água da estação hidrométrica.	40
36	Dados de pluviosidade da estação hidrométrica obtidos no período de 25/02/22 à 02/03/22.	41

LISTA DE TABELAS

1	Comparação das principais especificações da Blue Pill com o Arduino UNO	27
---	--	----

LISTA DE ABREVIATURAS

AES	Água e Solo Estudos e Projetos LTDA.
PCD	Plataforma de Coleta de Dados
ANA	Agência Nacional de Águas
CEMADEN	Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais
UART	<i>Universal Asynchronous Receiver/Transmitter</i>
I2C	<i>Inter-Integrated Circuit</i>
SPI	<i>Serial Peripheral Interface</i>
SDA	<i>Serial Data</i>
SCL	<i>Serial Clock</i>
MOSI	<i>Master Output Slave Input</i>
MISO	<i>Master Input Slave Output</i>
SS	<i>Slave Select</i>
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
RTC	<i>Real Time Clock</i>
CI	<i>Circuito Integrado</i>
GND	<i>Ground</i>
TTL	<i>Transistor-Transistor Logic</i>
AD	Analógico Digital
OLED	<i>Organic Light Emitting Diode</i>
PCB	<i>Printed Circuit Board</i>

1 INTRODUÇÃO

A água é uma substância essencial para a vida como conhecemos. Segundo Castro (2019), além dela ter propiciado a grande diversidade de espécies vivas, ela é especialmente importante para a vida humana sendo que cerca de 1 bilhão de pessoas não tem acesso a água com qualidade de potabilidade. Além do mais, a pressão sobre a disponibilidade de água doce aumenta, uma vez que, sofre-se com o aumento das mudanças climáticas que acarretam em períodos maiores e mais frequentes de estiagem e enchentes.

Torna-se então cada vez mais importante o conhecimento sobre o comportamento das águas nos continentes, fundamental para a sua adequada gestão e, conseqüente, para o aproveitamento racional deste inestimável recurso.

Segundo Garcez e Alvarez (1988), a ciência natural responsável pelo estudo dos fenômenos relativos a água, assim como de sua distribuição e ocorrências (seja na atmosfera, na superfície terrestre, ou no solo) é a Hidrologia, que ainda trata da relação das atividades humanas e da vida na terra com os recursos hídricos.

É indispensável para o estudo desta ciência a observação do comportamento das variáveis hidrológicas, dentre elas, o nível dos rios e o volume de chuva. De acordo com Naghettini e Pinto (2007), apesar das observações de variáveis hidrológicas sempre terem sido de interesse da humanidade, foi o desenvolvimento científico e tecnológico que possibilitou o registro desse comportamento de maneira metodológica, trazendo a vantagem de formação de séries históricas que podem ser analisadas à luz da estatística.

Porém, para que se possa fazer uma análise estatística que tenha relevância é necessário que os dados coletados sejam confiáveis, de tal forma que se torna indispensável que se utilize técnica, método e equipamento adequados às aplicações desejadas.

De acordo com Silva, Rodrigues e Takei (s.d.), as primeiras estações pluviométricas apareceram há mais de século no Brasil, sendo que, estações com controle de níveis e medição de vazões em corpos d'água são posteriores. Foi ainda no início do século XX que se organizou a hidrometria de forma mais metodológica em terras nacionais.

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (2021) o Brasil está atravessando um cenário hidrológico crítico, com as menores vazões desde 1930. No presente momento se está no início da estação de seca e os reservatórios estão com níveis de armazenamento baixos, levando a uma situação alarmante, pois a água armazenada é utilizada para geração de energia, agronegócio, abastecimento de cidades e demais setores usuários. Nesta situação, cresce cada vez mais o investimento no monitoramento dos dados hidrológicos para gerenciar cada vez melhor o uso destes recursos. Afim de ampliar este monitoramento, houve uma crescente no investimento em plataformas de coleta de dados que sejam inteligentes, autônomas e remotas, com o intuito de agilizar a análise destes dados.

1.1 Objetivo Geral

Desenvolver um sistema capaz de coletar os dados hidrológicos de corpos d'água para o monitoramento remoto.

1.2 Objetivos Específicos

São objetivos específicos deste trabalho os seguintes itens:

- Projetar e construir um protótipo de registrador de dados de nível de bateria, nível de coluna de água de um rio e volume de chuva;
- Implementar o protótipo em uma estação de testes;
- Validar o funcionamento através da visualização dos dados enviados via satélite.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão abordado os principais componentes de uma plataforma de coleta de dados hidrológicos.

Uma Plataforma de Coleta de Dados (PCD) é um dispositivo que dispõe de sensores eletrônicos capazes de medir diversas variáveis ambientais, tais como precipitação, temperatura, radiação solar, pressão atmosférica, variação dos níveis de corpos d'água, entre outras. As PCDs são equipadas com sistemas automáticos que coletam as informações do ambiente, armazenam e disponibilizam os dados utilizando redes de telefonia ou satélite.

A combinação de sensores com uma PCD é chamada de estação de coleta. As estações podem ser de diversos tipos que vão ser caracterizadas de acordo com as variáveis de ambiente monitoradas. Dentre os principais tipos de estações estão as meteorológicas, climatológicas e hidrológicas.

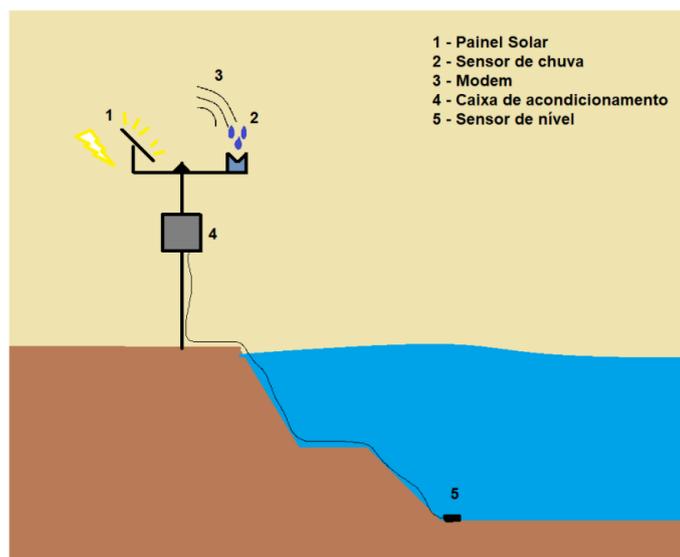
Dentro da hidrologia existe um capítulo chamado hidrometria que consiste em medir as grandezas que são importantes para o estudo da água na natureza, como os índices pluviométricos e fluviométricos. A pluviometria é o estudo das distribuições da chuva, já a fluviometria é o estudo da medição das principais variáveis de um curso d'água: nível e vazão. Assim, uma vez que, a função de uma estação hidrológica é monitorar as variáveis de chuva e nível, esta recebe o nome de estação hidrométrica.

Além dos sensores, uma estação hidrométrica deve conter equipamentos necessários para que a mesma seja autônoma, ou seja, capaz de produzir energia suficiente para seu funcionamento. De acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA) *apud* Monteiro (2011), uma estação hidrométrica deve ser composta minimamente pelos seguintes equipamentos:

- 1 (um) registrador de dados;
- 1 (um) sensor de chuva;
- 1 (um) sensor de nível d'água;
- 1 (um) controlador de carga de bateria;
- 1 (uma) bateria estacionária;
- 1 (um) painel solar;
- 1 (uma) antena.

Alguns equipamentos não possuem grau de proteção IP suficiente para ficarem expostos ao tempo e estes precisam de um recipiente para proteção contra chuva e poeira chamado de caixa de acondicionamento. A Figura 1 ilustra uma estação hidrométrica com a caixa de acondicionamento.

Figura 1: Ilustração de uma plataforma de coleta de dados hidrológicos.



Fonte: Do Autor (2022).

2.1 Registrador de Dados

Os registradores de dados (do inglês, *dataloggers*) são comumente utilizados por sua capacidade de armazenamento de um alto volume de dados por um longo período de tempo, permitindo a criação de um histórico capaz de auxiliar em análises futuras de desempenho. Para que a medição elétrica de qualquer tipo de transdutor seja calculada automaticamente e os valores sejam documentados, os tipos de dados devem ser determinados pelo usuário como temperatura, umidade relativa, tensão, pulso etc. Assim sendo, a usabilidade do registrador de dados será determinada pela capacidade de utilização de todos esses dados, ao passo que o registrador recupera, verifica e analisa os dados automaticamente (BADHIYE; CHATUR; WAKODE, 2011).

O *datalogger* é o "cérebro" de uma estação de coleta de dados, nele são definidas todas as funções da estação. Hoje em dia é comum que os *dataloggers* apresentem um elevado número de entradas digitais e analógicas, pois precisam estar aptos a operar qualquer tipo de estação. Entre as entradas mais conhecidas estão os contadores de pulso e as leituras de corrente. A Figura 2 mostra o *datalogger* da *Campbell Scientific* que é muito utilizado em estações meteorológicas, onde são lidos uma variada gama de sinais.

Figura 2: Registrador de dados CR1000X da Campbell Scientific.



Fonte: Campbell Scientific (2022).

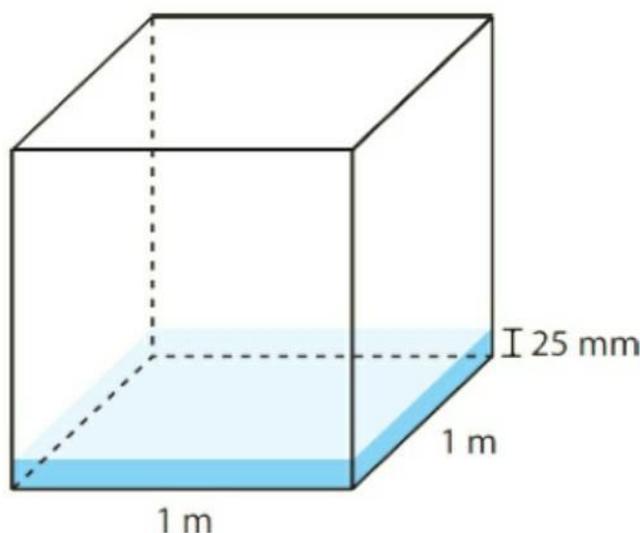
2.2 Sensor de Chuva

Segundo TUCCI et al. (2007) existem basicamente duas maneiras de medir o volume de chuva: espacialmente, com o auxílio de radares, e pontualmente, através de pluviômetros ou pluviógrafos. Esses últimos diferem entre si quanto a forma de coleta dos dados, enquanto o pluviômetro registra na forma numérica, o pluviógrafo registra os dados em forma gráfica.

A o processo de medir a quantidade da água que cai em uma região é chamado de pluviometria. Sendo os diversos tipos de precipitação, de um modo geral, medidos indiscriminadamente por meio do seu equivalente em água pela chamada altura pluviométrica (diz-se que caíram x mm de chuva). Convencionalmente se define que a medida de chuva é dada em uma altura de mm de coluna de água em uma área de $1 m^2$ como mostra o exemplo da Figura 3.

Neste trabalho é utilizado o pluviômetro como sensor de chuva, por ser o sensor mais utilizado no mercado e de fácil aplicação.

Figura 3: Ilustração da unidade de medida utilizada para mensurar a quantidade de chuva.



Fonte: Do Autor (2022).

O pluviômetro é um instrumento hidro meteorológico que se dedica ao estudo da transferência de água e energia entre a superfície e a atmosfera, e tem como finalidade medir a quantidade de precipitação atmosférica. O princípio de funcionamento desse equipamento é coletar a água da chuva em recipiente graduado, logo os dados de pluviosidade serão fornecidos por meio da "altura pluviométrica" indicada pelo instrumento. A Figura 4 mostra o pluviômetro da DualBase com resolução de $0,2 mm$ utilizado para a coleta dos dados de chuva deste trabalho, onde é possível observar a balsa interna e a área de coleta.

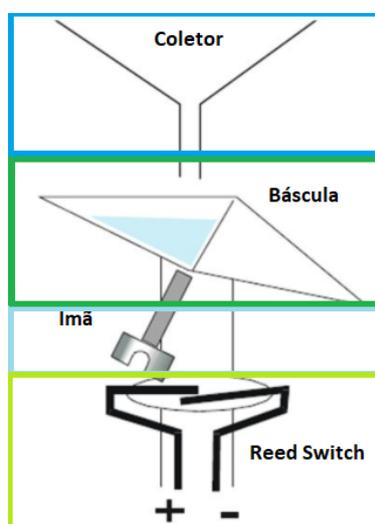
Figura 4: Sensor de precipitação pluviométrica PluvDB da DualBase.



Fonte: DualBase (2018b).

A Figura 5 é dividida em 4 etapas para ilustrar o funcionamento interno de um pluviômetro. A primeira etapa é a de coleta, nesta o pluviômetro recebe a água precipitada em seu coletor e a direciona para a segunda etapa. Na segunda etapa, aqui chamada de balsa, a água coletada deve passar por uma espécie de gangorra. Esta gangorra é composta por duas conchas que devem receber a água do coletor, e assim efetuar o movimento da gangorra. No centro da balsa é preso um ímã que acompanha o movimento (etapa 3). Alinhado ao centro da balsa existe uma chave magnética chamada de *reed switch* que é fechada sempre que percebe um campo magnético (etapa 4). Assim toda vez que o pluviômetro coleta o volume de água suficiente para uma transição da balsa, é emitido um sinal. O volume de água suficiente para a emissão de um sinal unitário do pluviômetro é calculado e chamado de resolução, ou seja, se um pluviômetro possui resolução de $0,2\text{ mm}$ e o pluviômetro emitiu 10 sinais, choveu naquela área a altura pluviométrica de 2 mm de chuva.

Figura 5: Sensor de precipitação pluviométrica PluvDB da DualBase.



Fonte: Do Autor (2022).

2.3 Sensor de Nível

O sensor de nível utilizado para medir a profundidade dos rios é chamado de limnímetro. Os limnímetros são instrumentos capazes de medir a variação da superfície da água. Existem variados tipos de limnímetros, um dos mais utilizados no mercado é o limnímetro piezoresistivo. O sensor piezoresistivo gera um sinal de corrente de 4 a 20 mA dependendo da diferença de pressão a qual é submetido. Os limnímetros podem ser de dois tipos: relativo ou absoluto. O sensor relativo mede a pressão da coluna de água já descontando a pressão atmosférica, já o sensor absoluto mede a pressão total e precisa de uma compensação barométrica para caso o usuário necessite apenas da pressão da coluna d'água. A Figura 6 mostra o sensor de pressão relativa piezoresistivo LimniDB utilizado neste trabalho para medir o nível dos rios.

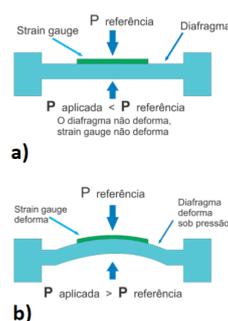
Figura 6: Sensor de pressão submersível LimniDB da DualBase.



Fonte: DualBase (2018a).

Os sensores piezoresistivos possuem um extensômetro de resistência elétrica (do inglês, *strain gauge*) que varia conforme sofre deformação. A Figura 7 mostra dois casos, no caso a) o *strain gauge* não sofre deformação pois a pressão aplicada (pressão da coluna de água) é igual a pressão de referência (pressão atmosférica), já no caso b) a pressão aplicada é maior que a pressão de referência e assim há uma deformação no extensômetro resultando em uma variação da resistência proporcional a diferença de pressão. Como este sensor é um sensor de 4 a 20 mA, ele terá sua corrente variando conforme profundidade aumentar. Este tipo de sensor possui um limite inferior de 4 mA para quando está fora da água e 20 mA para quando está em sua escala máxima.

Figura 7: Ilustração do funcionamento de um *strain gauge* utilizado como sensor de pressão. a) Pressão de referência maior que a pressão aplicada, sem deformação no *strain gauge*. b) Pressão aplicada maior que a pressão de referência, *strain gauge* sofre deformação.



Fonte: ALFACOMP (2022).

2.4 Controlador de Carga

O controlador de carga é um dos mais importantes componentes de um sistema fotovoltaico autônomo. Ele é o equipamento responsável por preservar a vida útil das baterias estacionárias, protegendo-as dos efeitos da sobrecarga ou descarga abrupta. Suas funções são coletar a energia proveniente dos painéis solares, carregar as baterias e gerar corrente de alimentação maior que a descarga automática do sistema, preservando o funcionamento da bateria. A Figura 8 mostra o SHS-10, que é o controlador de carga utilizado neste trabalho.

Figura 8: Controlador de carga SHS 10 da Morningstar.



Fonte: Morningstar (2022).

2.5 Bateria Estacionária

A bateria estacionária é um tipo de bateria recarregável que, durante o ciclo de descarga, oferece quantidade constante de corrente por um longo período de tempo, além de poder ser descarregada completamente diversas vezes. Este tipo de bateria é projetada para ciclos de descarga profundos. São as baterias, atualmente, mais indicadas para o uso com energia fotovoltaica.

2.6 Antena

Com a evolução das telecomunicações ficou cada vez mais acessível a utilização de sistemas que fazem uso da telemetria (medição remota). Um dos meios mais utilizados para transferências de dados sem fio são as ondas de rádios. As ondas de rádio podem ser geradas para rádios, telefonia móvel, radar, satélite e inúmeras outras aplicações. Para este trabalho é destacada a comunicação via satélite com a antena da Figura 9, também chamada de modem pois possui um modulador de sinal.

Figura 9: Terminal de satélite ST6100 da Orbcomm.



Fonte: Orbcomm (2021).

2.7 Painel Solar

A energia solar fotovoltaica, conversão de energia solar em eletricidade, é uma fonte de energia renovável devido à natureza inesgotável do sol e também considerada limpa, pois o seu funcionamento não tem emissões indesejáveis. Além disso, dispõe de outras vantagens como o longo tempo de vida dos seus equipamentos (da ordem dos 30 anos), baixa manutenção (só é preciso prestar alguma atenção aos acumuladores) e as suas modularidade e portabilidade (BRITO; SILVA, 2006).

O painel solar fotovoltaico (Figura 10) é um dos meios mais utilizados para a captação de energia solar e também o escolhido para este trabalho.

Figura 10: Módulo fotovoltaico POLI cristalino da 3T Solar Engenharia.



Fonte: NeoSolar (2022).

2.8 Protocolos de Comunicação

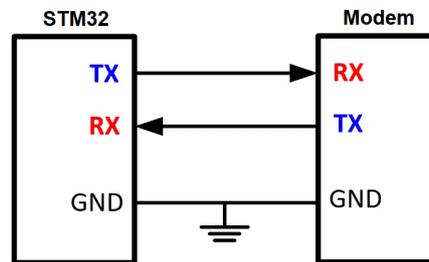
Protocolos de comunicação são regras e procedimentos que os participantes de uma comunicação devem seguir para o correto funcionamento da transferência de informações. Fazendo uma analogia com a comunicação verbal, quando uma pessoa está falando a outra deve estar ouvindo, pois se as duas falarem ao mesmo tempo a conversa pode ficar confusa e a informação não é passada. Outra analogia seria o uso de idiomas diferentes, uma pessoa falando português dificilmente conseguira passar informações para uma que fala mandarim. Desta forma fica claro por que o uso de protocolos de comunicação são necessários entre equipamentos distintos que desejam se comunicar. Neste trabalho são utilizados os protocolos de comunicação serial: UART, I2C e SPI.

2.8.1 UART

UART (do inglês, *Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*) é um protocolo de comunicação que significa, em português, Transmissor/Receptor Universal Assíncrono. Como se trata de uma comunicação assíncrona, não existe a necessidade um sinal de *clock* para sincronizar o sinal enviado com o sinal recebido. Este é um protocolo de comunicação *full-duplex*, ou seja, a comunicação é realizada ao mesmo tempo de um dispositivo para outro, pois cada dispositivo possui um meio para receber e outro para enviar. Estes meios de envio e recebimento são chamados de TX e RX, que significam transmissor e receptor respectivamente. A Figura 11 mostra como deve ser conectada as partes para estabelecerem

uma comunicação serial utilizando o protocolo UART.

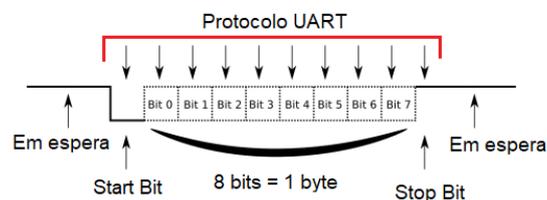
Figura 11: Conexões necessárias para estabelecer uma comunicação via protocolo UART.



Fonte: Do Autor (2022).

O protocolo UART realiza a transmissão de um dado com o tamanho de um *byte* (8 bits) por vez. Para efetuar a transmissão de um *byte*, ele envia um bit sinalizando que irá começar a transmissão (do inglês, *start bit*), após são enviados os 8 bits do dado ele finaliza enviando um bit de finalização do dado (do inglês, *stop bit*). Enquanto ele não estiver em transmissão a linha fica com nível lógico alto, ou seja, os bits de *start* e *stop* são sinais lógicos de nível baixo. A Figura 12 demonstra um pacote de dados enviado utilizando o protocolo UART.

Figura 12: Estrutura de um pacote de dado do protocolo UART.



Fonte: Do Autor (2022).

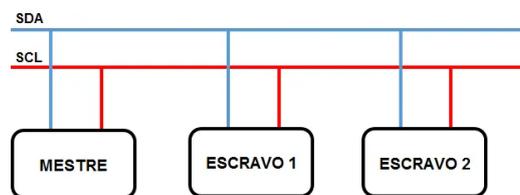
2.8.2 I2C

O protocolo de comunicação I2C (do inglês, *Inter-Integrated Circuit*) é baseado entre uma relação hierárquica mestre/escravo. Quando há vários dispositivos se comunicando, pelo menos um deles deve ser o mestre e os demais escravos. Para solicitar as informações de um escravo, o mestre deve enviar um sinal ao escravo para então receber as informações. De maneira análoga, seria como chamar pelo nome da pessoa quando quer se comunicar e iniciar a conversação.

A estrutura de conexão entre os mestres e os escravos é baseada em barramentos, ou seja, consiste em um arranjo em que todos os elementos encontram-se conectados a um ramal principal como mostra a Figura 13. Um canal de comunicação I2C é composto por 2 barramentos, um barramento é chamado de SDA (do inglês, *Serial Data*) e é responsável pela troca de dados, enquanto o outro barramento é chamado de SCL (do inglês, *Serial Clock*) e possui a função de sincronizar os dispositivos e garantir a confiabilidade do sistema, pois diferentemente do protocolo UART o protocolo I2C é síncrono.

O dado a ser transferido é iniciado com um *start bit*, sinalizado com o SDA passando para o nível lógico baixo enquanto o SCL se mantém em nível lógico alto. O SDA inicia a

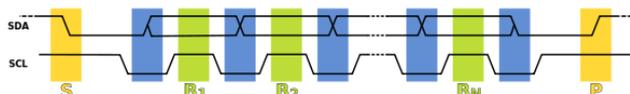
Figura 13: Estrutura de barramentos de um canal de comunicação I2C.



Fonte: Do Autor (2022).

transferência do dado bit a bit, sempre colocando a informação do bit durante a janela de transição do SCL. Toda vez que o SCL realiza o sinal alto o bit do SDA é identificado. Ao final do dado o SCL para de emitir sinais e finaliza se mantendo em nível lógico alto, o SDA então realiza transição para nível lógico alto sinalizando o *stop bit* como mostra a Figura 14.

Figura 14: Diagrama de tempo do protocolo I2C.

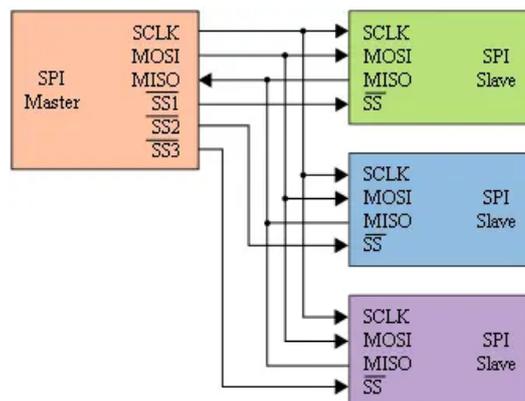


Fonte: Castilhos (2007).

2.8.3 SPI

O protocolo SPI (do inglês, *Serial Peripheral Interface*) possui a mesma ideia hierárquica de mestre/escravo do protocolo I2C e também possui barramentos onde todos os mestres e escravos se conectam. Porém, este protocolo possui barramentos de seleção para cada escravo, por onde realiza a função de endereçamento do dado. Também possui a mesma ideia do protocolo UART, onde existe um barramento de comunicação para envio e outro para recebimento.

Figura 15: Estrutura de conexão entre o mestre e os escravos do protocolo SPI.

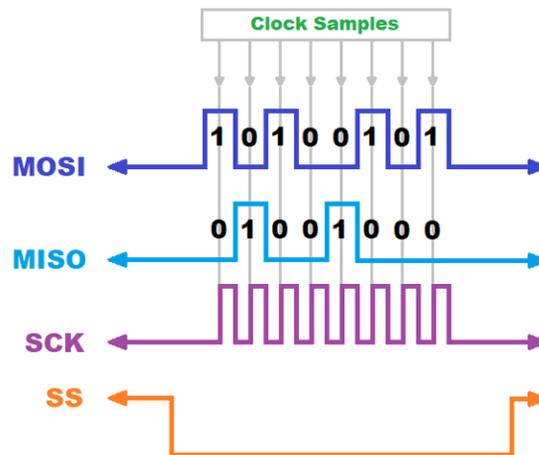


Fonte: Sacco (2014).

Os pinos responsáveis por executar a comunicação entre dois dispositivos são o SCLK (do inglês, *Serial Clock*) o qual possui a função de sincronia (protocolo síncrono), o pino SS (do inglês, *Slave Select*) que possui a função de selecionar o escravo com quem o mestre irá comunicar, o pino MOSI (do inglês, *Master Output Slave Input*) que é por onde o mestre envia os dados para o escravo e, por fim, o pino MISO (do inglês, *Master Input Slave Output*) que é a via em que o mestre recebe as informações do escravo como pode ser observado na Figura 15.

Para iniciar a transferência de um dado entre um mestre e um escravo, o mestre deve colocar em nível lógico baixo o sinal SS do escravo. Uma vez que o escravo está selecionado, é necessário que o mestre coloque o dado, bit a bit, no barramento MOSI para enviá-lo ao escravo e o escravo deve colocar os dados que deseja enviar ao mestre no barramento MISO. Os dados serão registrados por ambas as partes em cada borda de subida do SCLK. Para finalizar a conexão, basta que o SS do escravo retorne ao nível lógico alto. A Figura 16 mostra o diagrama de tempo do protocolo SPI.

Figura 16: Diagrama de tempo do protocolo SPI.



Fonte: Cap Sistema (2020).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Propõe-se o desenvolvimento de um equipamento capaz de coletar dados relativos a hidrometria da estação, neste caso, os dados de volume de chuva e nível de coluna d'água. Tão importante quanto os dados hidrológicos da estação são os dados de energia, pois é de extrema importância que a estação se mantenha em funcionamento contínuo. Então o equipamento monitora o nível da bateria, para que seja possível identificar a autonomia da estação e até, se preciso for, redimensionar o painel solar ou bateria.

Para ler as variáveis de chuva, nível e bateria, o equipamento contém entradas digitais e analógicas.

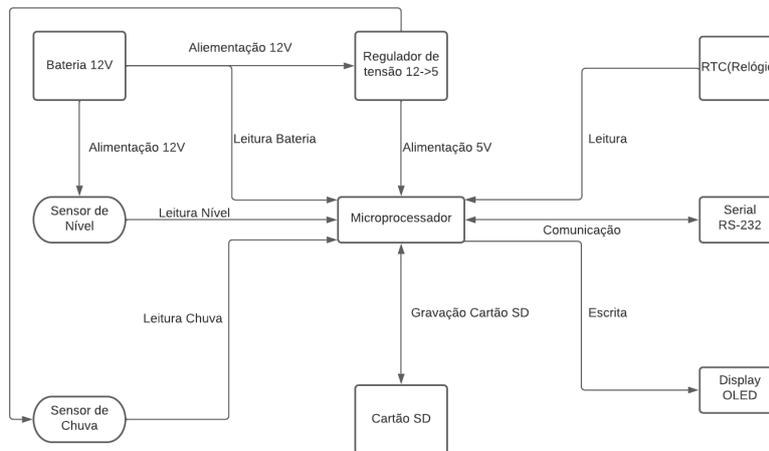
O sistema tem a função de armazenar e enviar os dados coletados em intervalos de tempo pré definidos. Para realizar esta tarefa é utilizado um relógio interno com a função de contagem do tempo e calendário.

Comumente em estações de coleta de dados, são empregadas baterias com tensão de 12 V, mas os equipamentos eletrônicos trabalham em tensões menores, geralmente 5 V ou 3,3 V. Assim no datalogger consta um regulador de tensão para fornecer a tensão correta do circuito.

Para facilitar a visualização prévia do correto funcionamento do datalogger, o equipamento contém uma tela (do inglês, *display*) para visualização das variáveis, tempo, data e também possíveis erros que possam ocorrer durante a inicialização.

As funções do sistema são controladas por um microcontrolador que irá atuar como "cérebro" do sistema. Neste são armazenadas as rotinas do equipamento, como a coleta das variáveis, armazenamento e envio.

O diagrama da Figura 17 mostra as principais funções do datalogger. A partir das funções são escolhidos os componentes que realizam cada uma destas operações e, de forma detalhada, abordados em tópicos separados. O esquemático geral com o diagrama de todas as conexões do datalogger pode ser encontrado no Apêndice A.

Figura 17: Diagrama das funções principais do registrador de dados.

Fonte: Do Autor.

3.1 STM32

As plataformas de prototipagem eletrônica de código aberto (do inglês, *open source*) estão cada vez mais acessíveis. Tornaram-se de amplo acesso projetos desenvolvidos utilizando Arduino, EPS32, SPM32 ou Raspberry. Estes equipamentos são poderosos aliados no mundo da robótica, pois possuem alto poder de processamento, baixo custo, um ambiente de desenvolvimento amigável e uma variedade de periféricos. Apesar de cada linha de produtos dos fabricantes possuir um equipamento de baixo custo com características suficientes para o desenvolvimento deste trabalho, o STM32 possui maior conversor analógico digital, com uma resolução de 12 *bits*. Como são feitas coletas de sinais analógicos, ter um conversor analógico digital com maior resolução aumenta muito a precisão da medição.

O produto que utiliza o MCU STM32 é a *Blue Pill* (Figura 18) que leva este nome pois foi carinhosamente inspirada no filme Matrix.

3.1.1 Características Técnicas

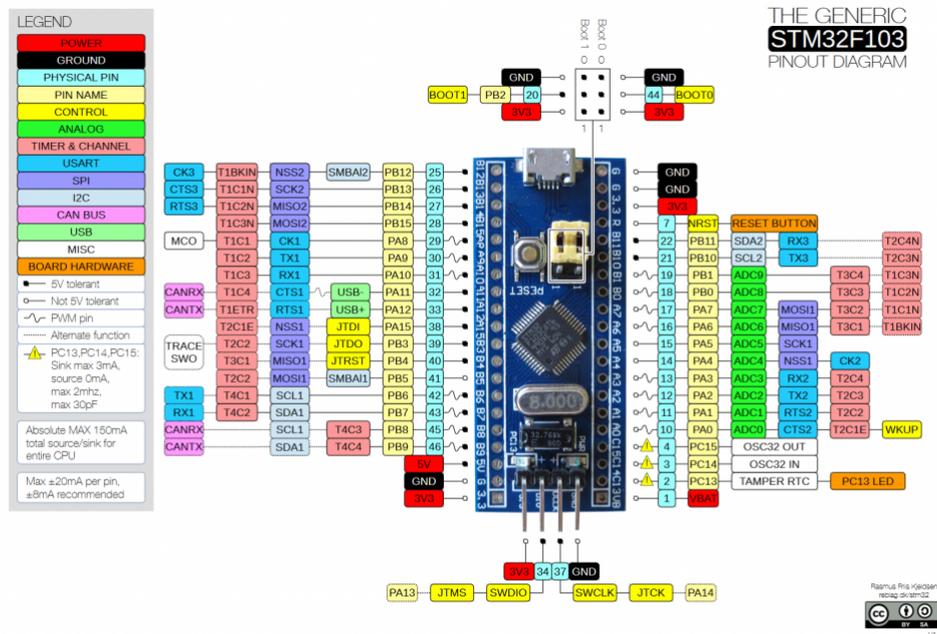
O principal componente da *Blue Pill* é o microcontrolador STM32F103C8T6 que possui uma quantidade as características suficientes para a aplicação desejada. Na tabela 1 é realizada uma comparação da *Blue Pill* com a placa equivalente Arduino UNO de alguns dos principais recursos.

3.1.2 Ambiente de Desenvolvimento Integrado

Um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE do inglês, *Integrated Development Environment*) é um *software* para criar aplicações que combinam ferramentas comuns de desenvolvimento em uma única interface gráfica do usuário. Um IDE geralmente possui um editor de código fonte, um compilador automático e um depurador (do inglês, *debugger*).

O IDE utilizado para o desenvolvimento deste trabalho foi o do Arduino, pois este é um IDE que possui compatibilidade com os microcontroladores da STM32, permite programação em linguagem similar a C/C++ e apresenta usabilidade de software.

Figura 18: Diagrama de pinos da plataforma de desenvolvimento Blue Pill.



Fonte: Guse (2021).

Tabela 1: Comparação das principais especificações da Blue Pill com o Arduino UNO

Especificações	STM32F103	Arduino UNO R3
Arquitetura	32 Bit	8 Bit
Frequência da CPU	72 MHz	16 MHz
Memória RAM	20 kB	2 kB
Memória Flash	64 kB	32 kB
Número de Pinos	37	14
Protocolos Aceitos	SPI, I2C, UART, CAN	SPI, I2C, UART
Número de Pinos ADC	10	6
Resolução do ADC	12 Bit	10 Bit

Fonte: Do Autor (2022).

3.2 Relógio de Tempo Real

Um relógio de tempo real (RTC do inglês, *Real Time Clock*) é um relógio computacional (geralmente um circuito integrado) que retém o controle do tempo. Este termo é frequentemente utilizado quando se trata de computador pessoais, servidores e sistemas embarcados, dada sua alta importância na sincronização de informações.

A expressão "*real time clock*" é utilizada para evitar a confusão com outro termo utilizado em sistemas computacionais, o "clock" que faz referência ao padrão de frequência que controla os ciclos da eletrônica digital.

Mesmo que a tarefa do controle do tempo possa ser realizado de alguma outra forma, utilizar um RTC trás alguns benefícios:

- Baixo consumo de energia;
- Libera o sistema principal para outras tarefas;
- Possui alta precisão se comparado a outros métodos.

Os RTCs frequentemente possuem uma fonte de energia alternativa, de forma que podem continuar a contagem do tempo enquanto a fonte de energia principal está desligada ou indisponível, normalmente a fonte de energia alternativa é uma bateria.

O DS1302

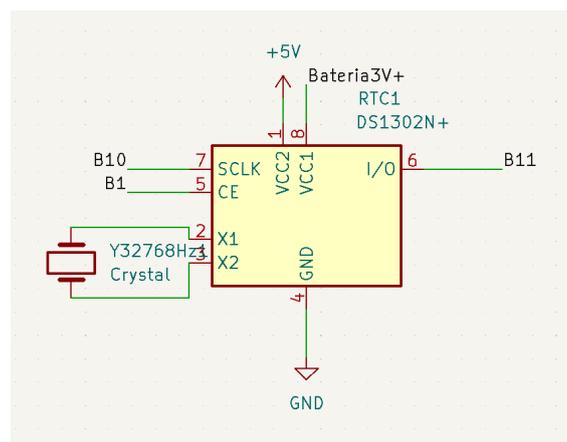
Para a análise dos dados, é de fundamental importância que todos os dados coletados indiquem a data e o horário em que foram realizadas as leituras. Então o datalogger possui um RTC que se comunica com o microprocessador via comunicação serial, utilizando o protocolo I2C.

O componente escolhido é o DS1302 da Tiger Electronics que fornece as informações de segundos, minutos, horas, dias, meses e anos. Possui funções que reconhecem os meses com menos de 31 dias e anos bissextos. Este circuito integrado (CI) também possui um sensor interno que detecta falhas na alimentação principal e alterna para a uso de uma bateria do tipo CR2032 de 3V. Essa bateria garante o funcionamento de até 10 anos o uso de uma alimentação externa, segundo o fabricante. A alimentação principal utiliza a tensão de 5V.

O DS1302 está conectado aos pinos B11, B10 e B1 que utilizam o protocolo I2C. Também possui conexões com uma tensão de 5V, um terra (GND do inglês, *ground*) e um cristal oscilador como mostra a Figura 19.

Como a maioria dos RTCs, o cristal oscilador utilizado é um cristal de quartzo de 32,768 kHz.

Figura 19: Diagrama de conexões do RTC DS1302.



Fonte: Do Autor (2022).

3.3 Entradas Digitais

Um sinal digital consiste tipicamente em uma fonte de tensão, um interruptor e um sensor de tensão. Dependendo do estado aberto/fechado do interruptor, o sensor de tensão detecta um estado tensão de "ligado" ou "desligado", produzindo por sua vez um "1" ou um "0" lógico.

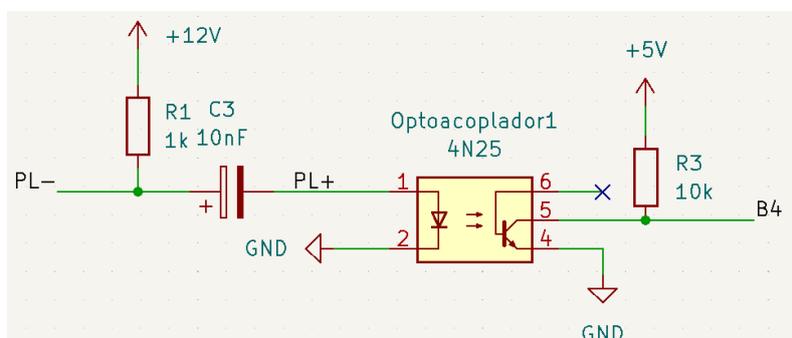
A base de toda a computação digital, até o presente momento, é constituída internamente por dois níveis de tensão. O sistema de numeração natural é o sistema binário. Chama-se um dígito binário (0 ou 1) de bit, que vem do inglês *Binary Digit*.

A partir de uma sequência de bits é possível realizar as mais diversas funções na eletrônica digital como contadores, interrupções, chaveamentos, dados entre outros.

Neste trabalho é utilizada uma entrada digital para a contagem dos pulsos de chuva emitidos pelo pluviômetro. O pluviômetro utilizado é alimentado por uma tensão de 12 V (tensão da bateria) e realiza um chaveamento toda vez que detecta o volume de água correspondente a 0,2 L (resolução de 0,2 mm). Assim, para identificar qual o volume de chuva que choveu naquela região basta multiplicar o numero de pulsos digitais pela resolução do pluviômetro para saber a pluviosidade.

A utilização de uma tensão de 12 V para alimentar o pluviômetro, conforme o fabricante, torna inviável a leitura do sinal diretamente no microcontrolador, pois o mesmo utiliza uma lógica de transistores tolerante a no máximo 5 V (TTL do inglês, *Transistor-Transistor Logic*). Para contornar esta situação o sinal passa por um optoacoplador, circuito integrado 4N25, que isola o sinal elétrico do pluviômetro do sinal elétrico recebido pelo microcontrolador. A Figura 20 mostra a configuração adotada para a utilização do optoacoplador, note que são utilizados resistores na configuração de *pull-up* (do português, puxar para cima) para eliminar interferências nas entradas digitais. O microcontrolador foi configurado para identificar um sinal baixo como pulso do pluviômetro utilizando uma abordagem de interrupção com leitura da borda de descida. Nesta figura o pino PL+ é o sinal de chaveamento do pluviômetro e o pino B4 é a entrada de uma porta digital do microcontrolador. O capacitor inserido entre PL- e PL+ é utilizado como técnica de *debouncing* para que não haja o efeito *bouncing*, efeito que causa o múltiplo chaveamento.

Figura 20: Diagrama de conexões para a leitura do sinal de chuva utilizando um optoacoplador.



Fonte: Do Autor (2022).

3.4 Entradas Analógicas

Um sinal analógico é a representação de uma grandeza contínua que pode assumir, em um determinado instante, qualquer valor entre os dois limites definidos.

O microcontrolador utilizado possui conversores analógico digitais (AD). Estes conversores são a interface eletrônica entre o mundo analógico e o mundo digital. Os conversores AD do equipamento possuem resolução de 12 bit e faixa dinâmica de 0 V a 3,3 V, o que significa dizer que o conversor consegue diferenciar sinais com amplitude de $1/2^{12}$ do valor total da faixa dinâmica. Para uma faixa dinâmica de 3,3V a menor amplitude que pode ser resolvida é: $3,3/2^{12} = 0,0008 \rightarrow 0,8 \text{ mV}$.

As entradas analógicas estão configuradas para as coletas da tensão da bateria da estação hidrométrica e o nível de coluna d'água para a seção do rio escolhida.

A leitura da tensão na bateria é realizada por meio de um divisor resistivo que reduz a tensão para efetuar a leitura em uma porta analógica. Após o divisor resistivo existe um seguidor de tensão (*buffer*) que é usado para isolar e conectar um estágio de alta impedância de entrada a uma carga de baixa impedância de saída, logo a entrada analógica não drena corrente do divisor resistivo.

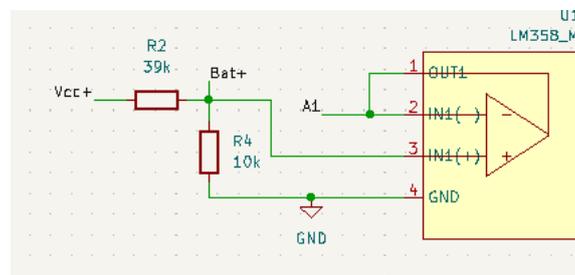
O cálculo utilizado para a coleta da leitura da tensão da bateria onde V_{cc} é a tensão na bateria e Bat é a tensão lida pela entrada analógica, é dada por:

$$Bat = V_{cc} \times \frac{R4}{R2 + R4} = A1. \quad (1)$$

Para a escolha dos resistores, foi utilizado o valor de 16 V como tensão máxima que a bateria pode atingir, já que os valores físicos máximos da bateria variam entre 13,8 V e 14,4 V. Uma vez definida a tensão máxima da bateria e sabendo que a faixa dinâmica permitida nas entradas analógicas vai de 0 V a 3,3 V chegou-se aos valores comerciais de 10 k Ω e 39 k Ω para os resistores $R4$ e $R2$ respectivamente.

A Figura 21 mostra o esquema de conexões entre o divisor resistivo e um dos amplificadores operacionais existente no circuito integrado LM358 utilizado como *buffer*. Nesta figura é possível observar que a porta utilizada para a leitura da bateria é a porta analógica A1 do microcontrolador.

Figura 21: Diagrama de conexões para a leitura da tensão na bateria.



Fonte: Do Autor (2022).

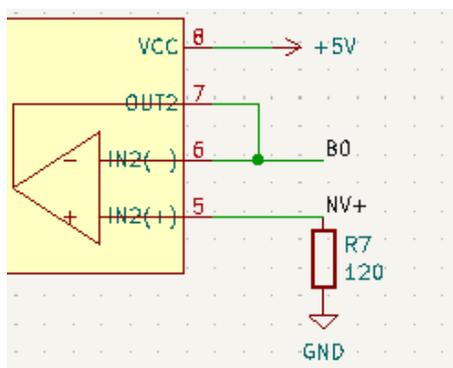
O sinal do sensor de nível é um sinal de corrente de 4 mA a 20 mA. Para efetuar a leitura deste sinal é utilizado um resistor de 120 Ω afim de obter um sinal de tensão correspondente ao sinal de corrente. De maneira análoga a leitura da bateria é utilizado um *buffer* para o sinal analógico da altura da coluna de água.

O sinal de tensão $NV+$ (Figura 22) correspondente ao sinal de corrente do sensor de nível é calculado a partir da equação expressada por:

$$B0 = NV \times 120. \quad (2)$$

Na Figura 22 é possível observar a leitura do nível na porta analógica $B0$ utilizando o outro amplificador operacional presente no circuito integrado LM358.

Figura 22: Diagrama de conexões para a leitura do sensor de nível.



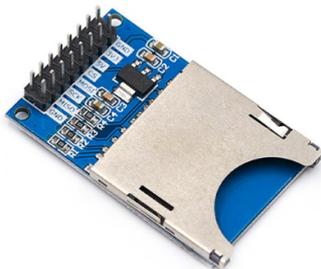
Fonte: Do Autor (2022).

3.5 Cartão SD

O cartão de memória foi implementado para garantir que os dados sejam registrados mesmo que a antena não venha a funcionar, ou seja, se por algum motivo o modem falhar ou não achar sinal para o envio dos dados, eles serão armazenados. Outro ponto importante para a escolha de um cartão de memória, é garantir que os dados enviados são os mesmos que são registrados, uma vez que em intervalos pré definidos as equipes de campo devem coletar os cartões das estações e substituí-los. Após a coleta os cartões são levados para a análise dos dados registrados, que devem coincidir com os dados enviados.

O módulo de cartão implementado está de acordo com a Figura 23, que já permite leitura e escrita no cartão via comunicação serial utilizando o protocolo SPI. Este é um módulo de cartão SD (do inglês, *Secure Digital Card*) que suporta FAT16 e FAT32.

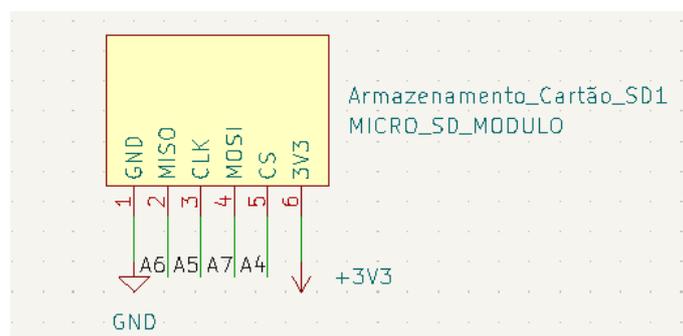
Figura 23: Módulo de cartão SD do datalogger.



Fonte: FilipeFlop (s.d.).

O módulo está conectado aos pinos A4, A5, A6 e A7 que se referem ao canal 1 da SPI do microprocessador como mostra a Figura 24.

Figura 24: Diagrama de conexões para a comunicação com o cartão SD.



Fonte: Do Autor (2022).

3.6 Display OLED

A grande maioria dos datalogger utilizados na empresa Água e Solo Estudos e Projetos LTDA. (AES)¹ não possuem alguma interface homem máquina. Os principais indicativos destes datalogger são de energização do equipamento, datalogger em erro e alguns indicam se a comunicação está em funcionamento por meio de pontos luminosos. A falta de uma pré visualização dos sensores, relógio, e qual o tipo de erro que está ocorrendo com o datalogger são as principais questões levantadas pelos funcionários que atuam em campo. Diante deste fato, o protótipo aqui desenvolvido foi equipado com uma tela para facilitar e auxiliar a manutenção das estações.

O display selecionado teve como fator de projeto o consumo de energia. Assim, dentre os principais monitores do mercado a tecnologia escolhida foi a OLED (do inglês, *Organic Light Emitting Diode*). Esta tecnologia utiliza um material que faz com que cada pixel seja capaz de emitir a própria luz em resposta a uma corrente elétrica. E, por isso, cada pixel também pode ser desligado completamente, diminuindo o consumo de energia.

O instrumento escolhido foi o Display Gráfico OLED de 0.96 polegadas (Figura 25) que possui o circuito integrado SSD1306 como microcontrolador. O display é controlado via comunicação serial com o protocolo I2C. Os pinos utilizados para a conexão do display (Figura 26) são o pino B6 e B7 do microcontrolador que correspondem ao canal 1 I2C do microcontrolador.

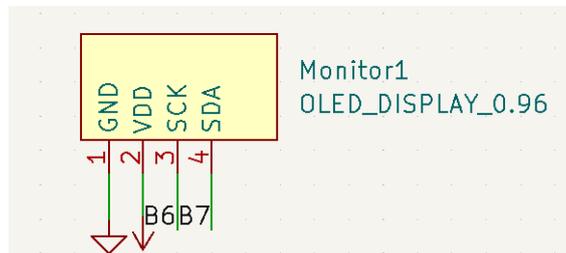
Figura 25: Display Gráfico OLED de 0.96 polegadas.



Fonte: FilipeFlop (2022).

¹ O presente trabalho foi desenvolvido em parceria com esta empresa, uma vez que o Autor estagia atualmente na mesma

Figura 26: Diagrama de conexões para a o funcionamento do display OLED.



Fonte: Do Autor (2022).

3.7 Comunicação Serial

A comunicação serial é o processo de enviar os dados bit a bit (um de cada vez), sequencialmente, é usada para a comunicação entre sistemas eletrônicos. Diferentemente da comunicação paralela, em que os dados são enviados simultaneamente. Cada bit representa uma condição de tensão (ligado ou desligado) em um dos pinos da porta serial, para envio ou recebimento de dados, representando 0 (desligado) ou 1 (ligado).

Neste trabalho são utilizados dois padrões para comunicação serial TTL e RS232. A comunicação serial no padrão TTL sempre permanecerá entre os limites de 0 V e V_{cc} , que geralmente é de 5 V ou $3,3\text{ V}$. O nível lógico alto "1" é apresentada por V_{cc} , enquanto o nível lógico baixo "0" é 0 V . Já o padrão RS232 utiliza uma tensão negativa de -3 V a -25 V para lógica alta "1" e a lógica baixa "0" é representada por uma tensão positiva de 3 V a 25 V .

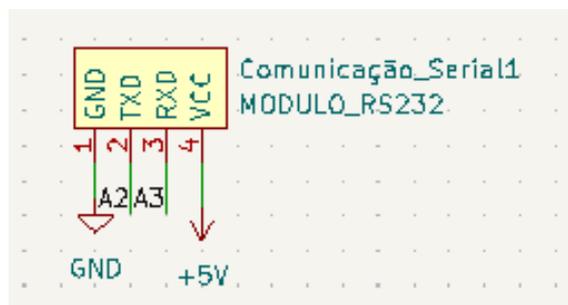
O padrão RS232 é utilizado para a comunicação com o modem, por ser este seu padrão. Como o datalogger usa o padrão TTL para comunicação interna entre os periféricos, ele possui um módulo para transformar o padrão TTL no padrão RS232 e então comunicar com o modem. O módulo escolhido para esta função é o Conversor MAX3232 com DB9 (Figura 27). Este conversor esta ligado ao canal 1 UART (do inglês, *Universal Asynchronous Receiver / Transmitter*) nos pinos A2 e A3 do microcontrolador como mostra a Figura 28.

Figura 27: Módulo Conversor MAX3232 com DB9.



Fonte: Baú da Eletrônica (2022).

Figura 28: Diagrama de conexões para o módulo Conversor MAX3232 com DB9.



Fonte: Do Autor (2022).

3.8 Estruturas de Dados

As estruturas de dados dizem respeito as informações que são salvas no cartão SD e as informações que são enviadas por satélite. Os dados salvos no cartão apresentam uma estrutura com mais informações, uma vez que, o cartão dispõe de memória suficiente para maior detalhamento no registro dos dados. Já os dados enviados via satélite possuem menos informações, pois devem respeitar um limite de pacotes mensais nos dados transferidos.

A Figura 29 mostra quais são as informações salvas no cartão SD, as informações enviadas via satélite e o tipo de variável de cada uma.

Figura 29: Estrutura dos dados salvos no cartão SD e enviadas via satélite.

Cartão SD														
dia	/	mês	/	ano	,	hora	:	minuto	:	segundos	,	bateria	nível	chuva
int	char	int	char	int	char	int	char	int	char	int	char	float	int	int

Envio Satélite								
dia	mes	ano	hora	bateria	nivel/100	nivel%100	chuva	
byte	byte	byte	byte	byte	byte	byte	byte	byte

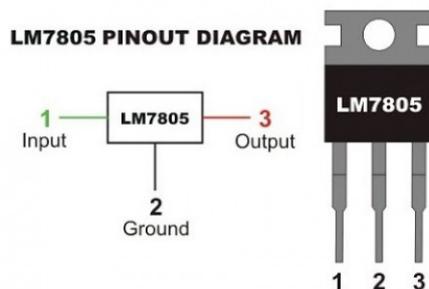
Fonte: Do Autor(2022).

Visto que cada byte pode atingir até 256 valores distintos, aquelas variáveis que possuem menos que 256 variações foram inseridas diretamente dentro de um byte, são elas: dia (31 valores), mês (12 valores), hora (24 valores). As variáveis de ano, chuva e bateria, apesar de poder conter mais de 256 variações, foram limitadas de tal forma que ocupassem apenas um byte. O ano é contado a partir do ano 2000 e pode variar até 2255. Para o volume de chuva são enviados os valores dos pulsos correspondentes, e realizado a conversão para milímetros de chuva após o recebimento dos dados. A bateria é multiplicada por 10 e assim pode ocupar o valores de 0 V a 25,5 V. A variável de nível possui 1000 variações e então é dividida em 2 bytes, um byte para enviar as centenas e o outro byte para enviar o resto da divisão por 100.

3.9 Alimentação

A alimentação disponível para o *datalogger* possui um tensão de 12 V que é fornecida por uma bateria estacionária. O *datalogger* utiliza em seus componentes tensões de 5 V e de 3,3 V. Para regular a tensão de 12 V para 5 V utiliza-se o regulador de tensão LM7805 (Figura 30). Este regulador de tensão pode suportar correntes de até 1 A. Já a tensão de 3,3 V é resultado de um regulador de tensão interno da própria *Blue Pill*.

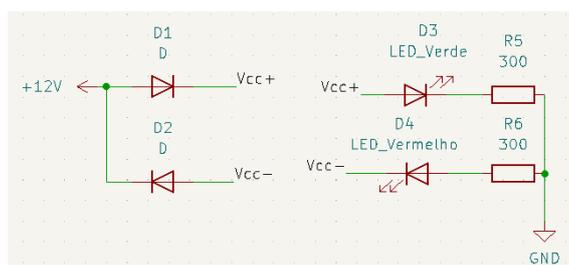
Figura 30: Regulador de tensão LM7805.



Fonte: DataCom BR (2022).

É de conhecimento que alguns erros podem ocorrer durante a instalação de um *datalogger* em campo, e um dos principais erros é a inversão de polaridade durante a energização. Para proteger o equipamento contra este erro, são inseridos dois diodos no protótipo. Um diodo está diretamente ligado ao sistema e o outro diodo inversamente. Além da proteção também são adicionados dois pontos luminosos (LEDs) para indicar a correta energização do *datalogger* (Figura 31). O LED verde indica polarização correta e o LED vermelho indica a inversa.

Figura 31: Diagrama de conexões para proteção contra a inversão da polaridade na alimentação do *datalogger*.



Fonte: Do Autor(2022).

3.10 Firmware

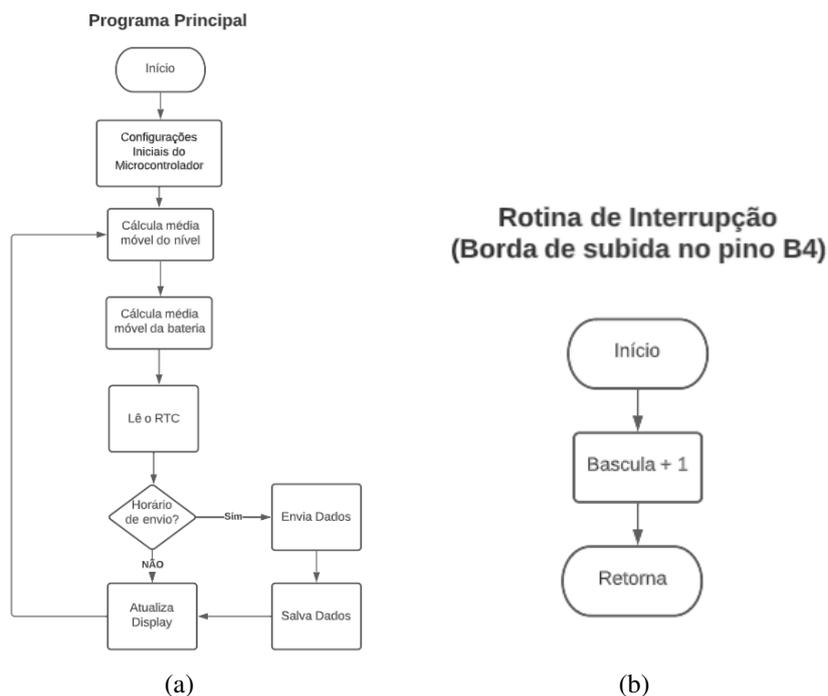
O *firmware* é um *software* inserido em um dispositivo de *hardware* (parte física de um sistema eletrônico) que executa funções como tarefas básicas de entrada/saída e oferece instruções necessárias para que o dispositivo se comunique com outros.

O *software* utilizado para desenvolver o *firmware* do *datalogger* foi o Arduino com a linguagem de programação C.

A Figura 32(a) mostra qual é rotina principal do *firmware* desenvolvido. Nesta figura é possível observar que a aquisição do sinal do nível e da bateria são obtidos a partir de uma função de média móvel. Esta função é utilizada como um filtro digital simples para a leitura de sinais analógicos para evitar a aquisição de sinais de pico proveniente dos ruídos.

O *firmware* também possui uma função de interrupção que é responsável pela leitura do sinal do sensor de chuva pois uma vez que a báscula emiti um pulso, este deve ser imediatamente registrado. A interpretação do sinal é feita a partir da identificação da borda de subida do pulso como mostra a rotina da Figura 32(b) e após é realiza o incremento uma unidade na variável de contagem.

Figura 32: Rotinas do *firmware* inserido no protótipo. (a) Diagrama de blocos da rotina principal; (b) Diagrama de blocos da rotina de interrupção para o sinal de chuva.



Fonte: Do Autor (2022).

3.11 Protótipo

O protótipo é o produto do trabalho para a execução da fases de testes. A manufatura do projeto foi estruturada de acordo com as seguinte sequência de etapas:

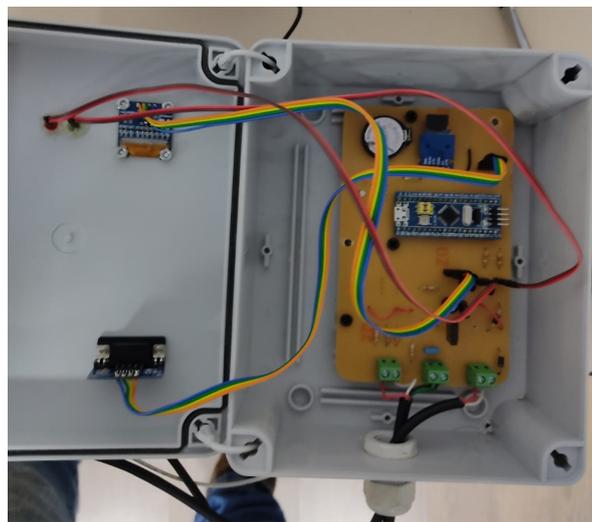
1. Montagem e testes em *protoboard*,
2. Diagrama esquemático de conexões,
3. Esquemático PCB,
4. Fresamento da PCB,
5. Soldagem dos componentes,
6. Montagem em caixa plástica.

A Figura 33 mostra o protótipo montado e pronto para o início dos testes. É possível observar nesta figura que existe um painel frontal na caixa onde o usuário pode visualizar as informações no *display* e também conectar o modem utilizando um conector do tipo DB9. As conexões dos sinais e energização são disponibilizadas externamente por meio de cabos para a proteção física dos componentes internos. Os cabos passam por um prensa cabo que impede a desconexão caso haja algum tipo de tração.

Figura 33: Montagem final da placa de circuito impresso em uma caixa de proteção. (a) Visão do painel frontal da caixa com display, leds indicativos e conector DB9 para o modem; (b) Visão interna da caixa com as conexões do painel frontal na placa.



(a)



(b)

Fonte: Do Autor (2022).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O protótipo do registrador de dados foi submetido ao teste de funcionamento na estação hidrométrica de testes da empresa AES para validar seu desempenho. Foi disponibilizado o período de 25/02/2022 à 02/03/2022 para o teste do protótipo com envio de dados via satélite.

4.1 Instalação em Campo

O protótipo foi instalado na estação hidrométrica de testes, que possui os mesmos instrumentos de uma instalação de campo. A Figura 34 mostra o *datalogger* instalado dentro da caixa de acondicionamento da estação de testes.

A estação hidrométrica de testes esta equipada com:

- 1 (Um) Antena Orbcomm ST6100;
- 1 (Um) Sensor de nível piezoresistivo LimniDB com escala de 10 *m*;
- 1 (Um) Pluviômetro PluviDB com resolução de 0,2 *mm*;
- 1 (Um) Controlador de carga SHS-10;
- 1 (Um) Painel solar de 30 *W*;
- 1 (Uma) Bateria estacionária SecPower de 12 *A*;
- 1 (Uma) Caixa de acondicionamento IP65.

4.2 Testes Realizados

A proposta do protótipo é de monitorar os dados de bateria, volume chuva e nível de coluna de água de um rio. Uma vez coletados esses dados, os mesmos devem ser enviados via satélite a cada hora e recolhidos remotamente em um servidor. A estação de testes está geolocalizada nas coordenadas geográficas de latitude $30^{\circ} 4'58,31''S$ e longitude $51^{\circ} 2'9,10''O$ (*Datum* WGS84). As Figuras 35 e 36 mostram os dados de bateria, nível e chuva.

Os dados de bateria (Figura 35 (a)) adquiridos na localidade da estação demonstram os ciclos de carga e descarga da bateria. Como estão temporalmente referenciados, é possível perceber que os períodos de carregamento das baterias coincidem com os períodos de maior incidência solar.

Figura 34: Instalação do datalogger em uma estação de testes da empresa Água e Solo Estudos e Projetos LTDA.

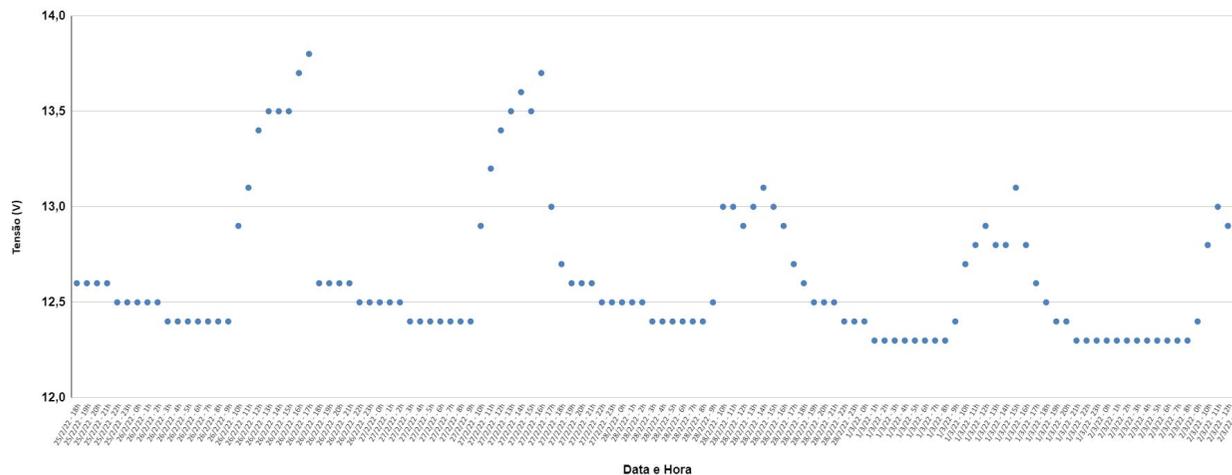


Fonte: Do Autor.

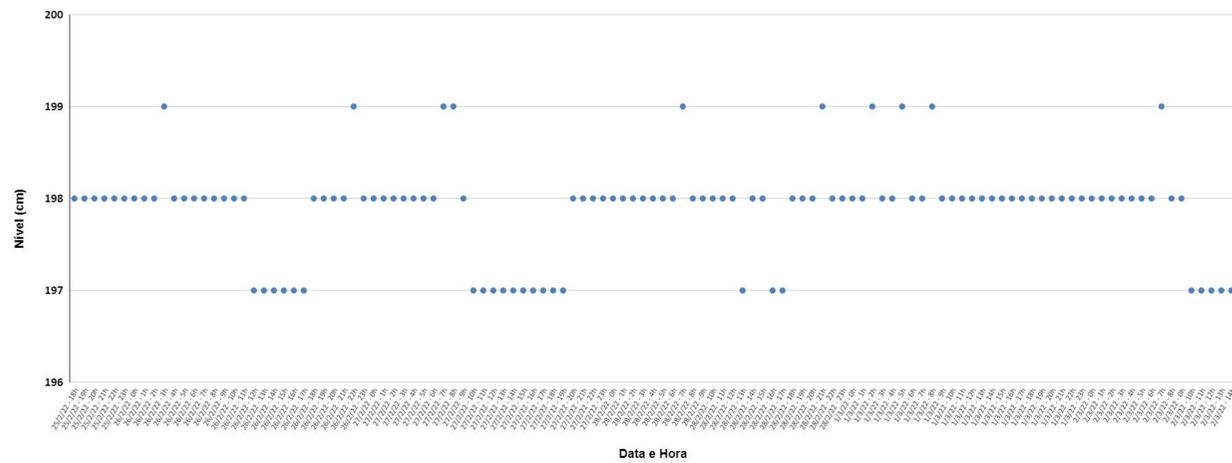
O sensor de nível está submerso em um tubo que contém uma coluna de água de aproximadamente 198 *cm* para teste. Os dados de nível (Figura 35 (b)) mostram a leitura do nível desta coluna de água. Em uma aplicação de campo os dados de nível são inseridos em uma função que converte o nível de coluna de água do rio na vazão do mesmo.

Os dados de chuva representam a pluviosidade da região em que a estação está instalada. Também foram coletados os dados de chuva de uma outra estação do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) para comparar e validar os dados de chuva do protótipo. Na Figura 36 pode ser observado em azul os dados de chuva do protótipo e em vermelho os dados de chuva da estação Vila Augusta localizada no município de Viamão a menos de 7 *km* de distância da estação teste. Os dados do volume de chuva são colhidos a cada hora, ou seja, o volume de chuva representado no gráfico diz respeito apenas ao intervalo da coleta.

Figura 35: Dados obtidos no período de 25/02/22 à 02/03/22 para o nível de: (a) bateria da estação hidrométrica; (b) coluna d'água da estação hidrométrica.

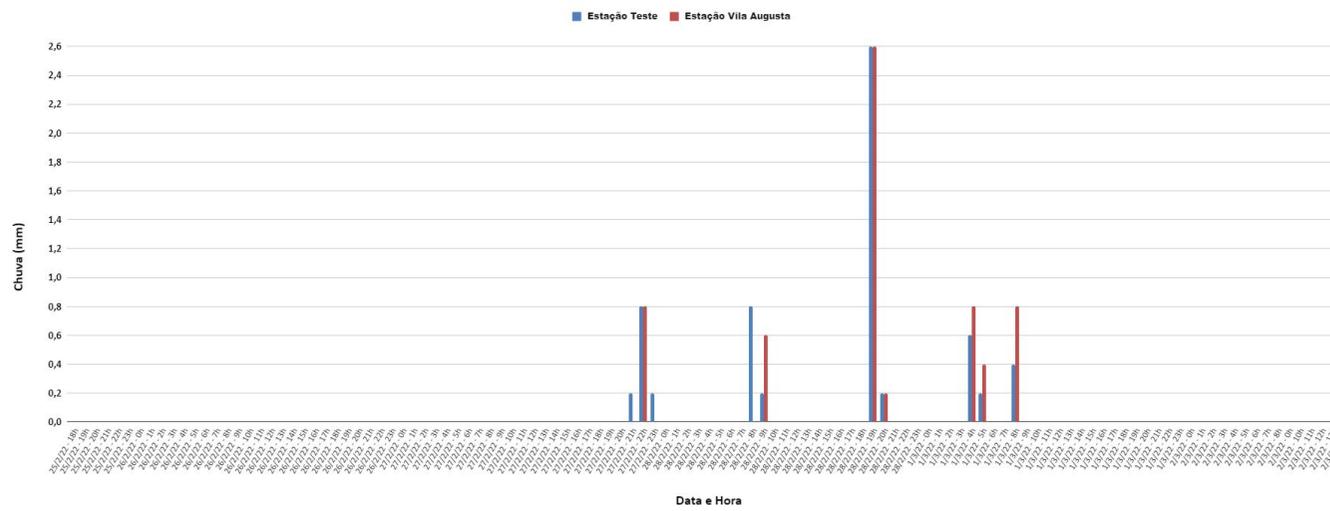


(a)



(b)

Figura 36: Dados de pluviosidade da estação hidrométrica obtidos no período de 25/02/22 à 02/03/22.



Fonte: Do Autor (2022).

4.3 Implementações Futuras

É fundamental para uma estação de coleta de dados que sua alimentação não seja interrompida, pois este problema pode ocasionar a falha total da estação. Diante deste fato, tem-se como prática comum a troca regular e preventiva das baterias.

Por muitas vezes as baterias que retornam estão em plenas condições de funcionamento e poderiam continuar em trabalho, as vezes, por mais alguns anos. Nesta circunstância pensou-se em desenvolver um módulo capaz de identificar a vida útil das baterias. Este dispositivo consideraria a bateria como um circuito elétrico análogo e a partir da corrente de carga e descarga levantaria sua curva característica. Assim será possível realizar a troca das baterias de forma preditiva e não preventiva, diminuindo os custos relacionados as trocas cíclicas.

5 CONCLUSÕES

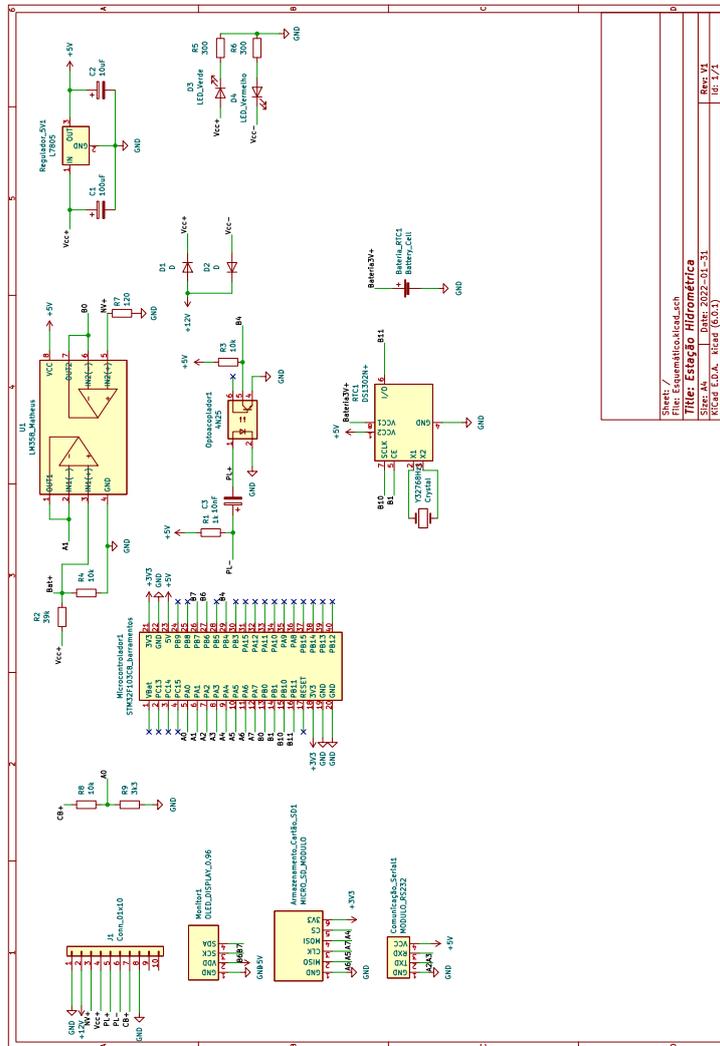
O presente trabalho buscou criar uma plataforma de coleta de dados hidrológicos de baixo custo, a fim de atingir os requisitos descritos por temas anteriores. Mesmo com o uso de componentes de prototipagem, foi possível atingir o objetivo geral e os específicos.

O uso do STM32 se mostrou suficiente na comunicação com os periféricos e leitura das variáveis, provando ser uma alternativa viável quando se necessita realizar múltiplas tarefas com confiabilidade. Sua versatilidade no uso dos protocolos e alta resolução nas portas analógicas foi um dos motivos principais que tornou possível a realização das tarefas do registrador de dados.

Se por um lado o uso dos dados de chuva de outra estação auxiliam na verificação do sucesso do protótipo, por outro lado a não utilização do protótipo em campo não trás suficiência na avaliação do real comportamento do mesmo sobre as condições naturais do ambiente. Desta forma a instalação do protótipo em uma estação hidrométrica real ajudará na conclusão sobre a confiabilidade do *datalogger*.

Os cálculos das medições realizadas neste trabalho não levam em consideração as teorias de incertezas. São necessários novos estudos aplicando tais teorias para auxiliar na determinação dos valores que melhor representam as grandezas físicas.

APÊNDICE A - DIAGRAMA DE CONEXÕES DO DATALOGGER UTILIZANDO O SOFTWARE KICAD 6.0



REFERÊNCIAS

- ALFACOMP. *TP20 – Transmissor de pressão*. [S.l.: s.n.], 2022. Disponível em: <<https://alfacomp.net/produto/tp20-transmissor-de-pressao/>>.
- BADHIYE, S. S.; CHATUR, P.; WAKODE, B. Data logger system: A Survey. *International Journal of Computer Technology and Electronics Engineering (IJCTEE)*, p. 24–26, 2011.
- BAÚ DA ELETRÔNICA. *Conversor RS232 Para TTL MAX3232 com DB9*. [S.l.: s.n.], 2022. Disponível em: <https://www.baudaeletronica.com.br/conversor-rs232-para-ttl-max3232-com-db9.html?gclid=CjwKCAjw9e6SBhB2EiwA5myr9vwDk_eUYl-nnHuTAaIS37RLYeTS3g9QYEDr14v4VZ9z9N8oqjoUBRoCTWgQAvD_BwE>.
- BRITO, M. C.; SILVA, J. A. Energia fotovoltaica: conversão de energia solar em electricidade. *O instalador*, v. 25, n. 676, p. 07, 2006.
- CAMPBELL SCIENTIFIC. *Data Loggers*. [S.l.: s.n.], 2022. Disponível em: <<https://www.campbellsci.com.br/data-loggers>>.
- CAP SISTEMA. *Introdução ao Bit Banging: comunicação SPI via Bit Banging*. [S.l.: s.n.], 2020. Disponível em: <<https://capsistema.com.br/index.php/2020/12/11/introducao-ao-bit-banging-comunicacao-spi-via-bit-banging/>>.
- CASTILHOS, G. *I²C Bus Inter Integrated Circuits Bus*. [S.l.: s.n.], 2007. Disponível em: <<https://slideplayer.com.br/slide/362237/>>.
- 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-bacia-do-rio-tramandai/>>.
- DATACOM BR. *Regulador de Tensão LM7805*. [S.l.: s.n.], 2022. Disponível em: <https://datacombr.com.br/index.php?route=product/product&product_id=106>.
- DUALBASE. *LimniDB*. [S.l.: s.n.], 2018a. Disponível em: <<https://www.dualbase.com.br/produtos/sensores/nivel-de-rios-e-reservatorios/limnidb>>.
- DUALBASE. *PluviDB*. [S.l.: s.n.], 2018b. Disponível em: <<https://www.dualbase.com.br/produtos/sensores/precipitacao-pluviometrica/pluvidb>>.
- 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>>.
- FILIFELOP. *Display OLED 0.96*. [S.l.: s.n.], 2022. Disponível em: <<https://www.filieflop.com/produto/display-oled-0-96-i2c-azul-amarelo/>>.

- FILIFELOP. *Módulo Cartão SD*. [S.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/modulo-cartao-sd-card/>>.
- GARCEZ, L.; ALVAREZ, G. *Hidrologia*. [S.l.]: Editora Blucher, 1988. ISBN 9788521216667. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=LQG5DwAAQBAJ>>.
- GUSE, R. *Raspberry Pi Pico x STM 32 Bluepill - PRINCIPAIS DIFERENÇAS*. [S.l.: s.n.], 2021. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/blog/raspberry-pi-pico-x-stm32-bluepill-qual-placa-e-melhor/>>.
- MONTEIRO, L. C. *ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS PLATAFORMAS DE COLETA DE DADOS (PCDs)*. [S.l.: s.n.], jul. 2011. Disponível em: <https://arquivos.ana.gov.br/inf hidrologicas/cadastro/EspecificacoesTecnicas_Plataforma sdeColetasdeDados.pdf>.
- MORNINGSTAR. *SHS*. [S.l.: s.n.], 2022. Disponível em: <<https://www.morningstarcorp.com/products/shs/>>.
- NAGHETTINI, M.; PINTO, É. J. D. A. *Hidrologia estatística*. [S.l.]: CPRM, 2007.
- NEOSOLAR. *Painel Solar*. [S.l.: s.n.], 2022. Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/loja/painel-solar.html>>.
- ORBCOMM. *St-6100*. [S.l.: s.n.], 2021. Disponível em: <<https://www.orbcomm.com/PDF/datasheet/portuguese/st-6100-por.pdf>>.
- SACCO, F. *Comunicação SPI – Parte 1*. [S.l.: s.n.], 2014. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/spi-parte-1/>>.
- SILVA, L. L. DA; RODRIGUES, M. S.; TAKEI, P. N. A GESTÃO DA INFORMAÇÃO HIDROLÓGICA E A REDE HIDROMÉTRICA CONVENCIONAL E TELEMÉTRICA—A EXPERIÊNCIA DA ANEEL.
- TUCCI, C. E. et al. *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. 4 edição. Editora UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil, v. 943, 2007.