

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

MATEUS HENRIQUE ROSKOSZ MORAN

**SISTEMA AUTOMATIZADO PARA REPOSIÇÃO DE NUTRIENTES E AJUSTE DE
pH EM HIDROPONIA**

**CAMPO MOURÃO
2022**

MATEUS HENRIQUE ROSKOSZ MORAN

**SISTEMA AUTOMATIZADO PARA REPOSIÇÃO DE NUTRIENTES E AJUSTE DE
pH EM HIDROPONIA**

Automated system for nutrient replacement and pH adjustment in hydroponics

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Eletrônica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. Lucas Ricken Garcia

**CAMPO MOURÃO
2022**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos.

Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

MATEUS HENRIQUE ROSKOSZ MORAN

SISTEMA DE REPOSIÇÃO DE NUTRIENTES E AJUSTE DE pH EM HIDROPONIA

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Eletrônica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 30 de maio de 2022

Lucas Ricken Garcia

Doutor

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Eduardo Giometti Bertogna

Doutor

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Leandro Castilho Brolin

Doutor

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

CAMPO MOURÃO

2022

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar quero agradecer a Deus, minha família e meus amigos, por estarem comigo durante toda a trajetória de estudos e desenvolvimento do trabalho.

Gostaria de agradecer em especial meu orientador Prof. Dr. Lucas Ricken, que me acompanhou e auxiliou em toda essa jornada, aos meus pais, por toda ajuda e paciência, meus amigos, em especial o Pedro Bertelli e o Thom Marion, que estavam sempre dispostos a me ajudar com a solução de problemas que eu tinha dificuldade em resolver.

E por fim, gostaria de agradecer a todos os docentes da UTFPR que contribuíram imensamente para a minha formação acadêmica e pessoal.

RESUMO

O crescimento populacional gera uma maior demanda por alimentos. Sendo assim, é necessário buscar por métodos alternativos ao tradicional cultivo em solo e criar facilitadores para quem produz a base alimentar da sociedade. Este trabalho teve por objetivo criar uma ferramenta para utilização no cultivo hidropônico, tendo em vista que um dos principais fatores que determinam o sucesso e qualidade da produção hidropônica é o controle dos nutrientes e o ajuste de pH da solução nutritiva. É essa solução nutritiva a responsável pelo crescimento da planta, e se ela estiver desbalanceada, a produção de alimentos pode perder qualidade. Partindo dessa premissa e utilizando o conceito de sistemas microcontrolados, este trabalho apresenta o projeto e prototipação de um módulo funcional que permite ao usuário o agendamento das ações de correção de uma solução nutritiva, tal como ajuste de pH e de concentração de nutrientes. Para isso, foi utilizado um microcontrolador ATmega2560, display LCD para apresentação dos dados, teclado matricial para inserção de dados, sensores de ultrassom HC-SR04 para monitoramento do nível de solução nos reservatórios de aplicação e bomba d'água 5 V para liberação de solução de correção a um reservatório geral. Como resultado, obteve-se um protótipo funcional que permite o agendamento e configuração de aplicações de forma simples, editando data, horário, periodicidade e volume a ser aplicado no reservatório geral do sistema hidropônico simulado.

Palavras-chave: ATmega2560; hidroponia; controle da solução nutritiva.

ABSTRACT

Population growth generates a greater demand for food. Therefore, it is necessary to seek alternative methods to traditional soil cultivation and create facilitators for those who produce a food base for society. This paper aimed to create a tool for use in hydroponic cultivation, considering that one of the main factors that determine the success and quality of hydroponic production is nutrient control and pH adjustment of the nutrient solution. This nutrient solution is responsible for plant growth, and if it is unbalanced, food production can lose quality. Based on this premise and using the concept of microcontrolled systems, this paper presents the design and prototyping of a functional module that allows the user to schedule corrective actions for a nutrient solution, such as pH adjustment and nutrient concentration. For this, an ATmega2560 microcontroller was used, LCD display for data presentation, matrix keyboard for data entry, HC-SR04 ultrasound sensors that acquires the water level and a 5 V water bomb to control the parameters of the nutrient solution. As a result, a functional prototype was obtained that allows the scheduling and configuration of applications in a simple way, editing date, time, periodicity and volume to be applied in the general reservoir of the simulated hydroponic system.

Keywords: ATmega2560; hydroponics; nutrient solution control.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Sistema Hidropônico.....	11
Figura 2 - Exemplificação da comunicação TWI.....	17
Figura 3 - Fluxo de funcionamento do protocolo TWI.....	18
Figura 4 - Esquemático do protótipo implementado no mestrado.....	19
Figura 5 - Sistema de automação de Hidropônia.....	20
Figura 6 - Protótipo de automação do processo de realimentação da solução nutritiva e ajuste do pH.....	22
Figura 7 - Diagrama inicial do projeto.....	23
Figura 8 - Minibomba da água.....	25
Figura 9 - Drive de acionamento via transistor e acionamento de potência via relé 12V.....	25
Figura 10 - Alterar nível lógico de um pino.....	26
Figura 11 - Sensor Ultrassônico HC-SR04.....	27
Figura 12 - Funcionamento sensor ultrassônico.....	28
Figura 13 - Teclado Matricial.....	29
Figura 14 - Correspondência do teclado matricial.....	29
Figura 15 - Código para reconhecer a entrada de um número.....	30
Figura 16 - Relógio de tempo real (RTC).....	31
Figura 17 - Visor de cristal líquido 16x2.....	31
Figura 18 - Fluxograma do loop principal do código.....	33
Figura 19 - Esquemático módulo Arduino.....	36
Figura 20 - Projeto PCI do módulo Arduino.....	37
Figura 21 - Protótipo finalizado.....	39
Figura 22 - a) PCI corroída e perfurada b) PCI finalizada.....	40
Figura 23 - Módulo montado.....	41
Figura 24 - Telas de exibição.....	42
Figura 25 - Sensor HC-SR04 com colimador.....	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Aferição da vazão da bomba.....	43
Tabela 2 - Dados estatísticos HR-SR04 sem colimador.	44
Tabela 3 - Dados estatísticos HR-SR04 com colimador.	44

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

ACK	Acknowledgement
CLK	Clock
DFT	Deep Film Technique
I2C	Inter Integrated Circuit
IDE	Integrated Development Environment
LCD	Liquid Crystal Display
NFT	Nutrient Films Technique
PCI	Placa De Circuito Impresso
PWM	Pulse Width Modulation
RISC	Reduced Instruction Set Computer
RTC	Real Time Clock
SDA	Serial Data
SLC	Serial Clock
SPI	Serial Peripheral Interface
TDS	Total Dissolved Solids
TWI	Two Wire Interface
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal Do Paraná

SUMARIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Objetivos	11
1.2	Objetivos específicos	12
1.3	Justificativa	12
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1	Hidroponia	13
2.2	Sistemas microcontrolados	15
2.2.1	ATmega2560 E Placa De Desenvolvimento Arduino.....	15
2.2.2	Comunicação TWI	16
2.3	Sistemas microcontrolados aplicados à automatização de processos na hidroponia	18
3	METODOLOGIA	22
3.1	Visão geral do projeto	22
3.2	Interfaceamento dos periféricos	24
3.2.1	Bomba D'agua	24
3.2.2	Sensor Ultrassônico Hc-Sr04.....	26
3.2.3	Teclado Matricial.....	28
3.2.4	Relógio De Tempo Real DS-1302	30
3.2.5	Visor LCD 16x2 Com módulo I2C.....	31
3.3	Planejamento do código	32
3.4	Construção do código	34
3.5	Projeto do módulo	34
3.6	Construção do módulo	37
3.7	Testes	37
4	RESULTADOS OBTIDOS	39
5	CONCLUSÃO	45
	REFERÊNCIAS	46

1 INTRODUÇÃO

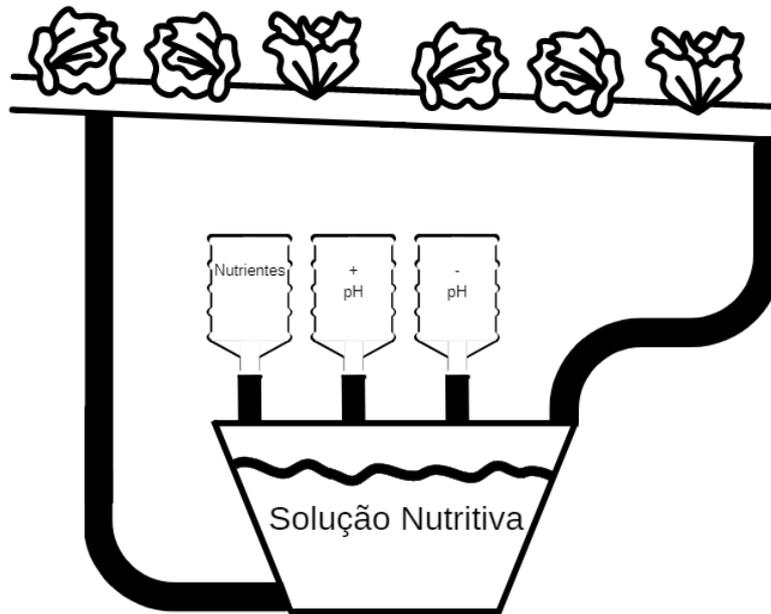
O sucesso de uma produção agrícola está diretamente relacionado com a quantidade e qualidade dos produtos produzidos e associado a diversos fatores como clima, qualidade do solo, tipo de solo, região, época e sazonalidade, além de estar sujeita às intempéries climáticas (CARIJO; MAKISHIMA, 2000). A partir de algumas técnicas de cultivo alternativas, determinadas variáveis do cultivo convencional têm sido controladas ou substituídas por soluções mais flexíveis e interessantes para propiciar o aumento da produção agrícola (PALANDE; ZAHEER; GEORGE, 2017).

Neste sentido, a Hidroponia é um exemplo de alternativa interessante para o cultivo de hortaliças e culturas de médio e pequeno porte. Trata-se de uma técnica de cultivo sem solo, que faz uso ou não de substrato, em que as plantas estão protegidas e seus nutrientes são fornecidos através da solução nutritiva (CARIJO; MAKISHIMA, 2000).

O fornecimento da solução nutritiva às plantas, por ser realizada através de um fluxo contínuo ou intermitente, dependendo da estratégia de cultivo, que podem variar entre o sistema de fluxo laminar de nutrientes (NFT), o cultivo em águas profundas (DFT), a aeroponia e o cultivo em substrato (CARIJO; MAKISHIMA, 2000).

A Figura 1 é uma representação de um sistema hidropônico de fluxo laminar de nutrientes (NFT), que é composto por um tanque contendo a solução nutritiva, três reservatórios contendo fluidos repositores e fluidos de controle de pH e o local em que as plantas entram em contato com a água, que normalmente é um tubo com buracos para fazer o aporte e fixação de plantas em geral.

Figura 1 - Sistema Hidropônico.



Fonte – A autoria própria (2022).

A partir do uso de sistemas microcontrolados é possível automatizar uma ampla gama de processos que não necessitam de grande processamento ou memória (GIMENEZ, 2015).

Desse modo é possível automatizar um sistema hidropônico, tanto o controle das variáveis climáticas como desenvolveu Silva *et al.* (2017), quanto o controle da solução nutritiva, do modo que Carlet (2019) e Eridani, Wardhani e Widiyanto (2017) desenvolveram, ou até mesmo automatizar todo um sistema hidropônico usando internet das coisas, de modo a ser possível controlar o sistema hidropônico pelo celular, como desenvolveram Palande, Zaheer e George (2017).

1.1 Objetivos

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um sistema automatizado para reposição de nutrientes e ajuste de pH para utilização em qualquer sistema de hidroponia. Para isso, objetiva-se aplicar os conceitos de microcontroladores, programação, sensores, motores e prototipação para permitir ao usuário, de forma simples, o agendamento e configuração das aplicações de soluções para reposição de nutrientes e ajuste de pH em um sistema hidropônico.

1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do projeto são:

- Medir o nível de volume da solução repositora de nutrientes e das soluções de ajuste de pH;
- Desenvolver um sistema de fácil agendamento e configuração das aplicações das soluções;
- Controlar o volume de solução a ser aplicada no sistema de hidroponia a partir da relação entre tempo de acionamento da bomba atuadora e da quantidade de volume aplicada.
- Produzir um protótipo funcional para teste do sistema automatizado.

1.3 Justificativa

A população mundial vem crescendo constantemente, e desse modo a demanda por alimentos também aumenta. A projeção feita para 2020, em meio a pandemia, era que aproximadamente 811 milhões de pessoas passariam fome (ONU, 2021) e ainda segundo dados do *United States Census* (2022), em tradução livre, senso dos Estados Unidos, a população mundial já atingiu 7,8 Bilhões de pessoas em 2022.

Nesse contexto de crescimento populacional mundial e aumento da fome, se faz necessário o estudo e o aprimoramento de técnicas, novas e já existentes, para a aquisição e cultivo de alimentos. A hidroponia pode ser um caminho viável para mitigar esse aumento da fome e levar a produção de alimentos para locais com climas extremos (PALANDE; ZAHEER; GEORGE, 2017).

Tendo em vista que a concentração dos nutrientes, bem como o pH da solução nutritiva é de suma importância para o correto desenvolvimento das plantas (FURTADO, 2008), é coerente que existam métodos automatizados para controlar a concentração de nutrientes na solução nutritiva.

Nesse sentido, é primordial para o início da automação dos processos que envolvem o cultivo de plantas por hidroponia o desenvolvimento de um sistema capaz de fazer a reposição de nutrientes e ajuste de pH em horários e dias previamente especificados.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

De modo a deixar a metodologia mais clara, se faz necessária a introdução de alguns componentes que compõem o projeto. Dessa forma, o objetivo desta seção é realizar uma breve revisão bibliográfica dos temas base necessários para o desenvolvimento do trabalho.

2.1 Hidroponia

O termo hidroponia deriva dos radicais gregos *Hydro* (água) e *ponos* (trabalho), é uma técnica de cultivo sem solo que foi popularizada na década de 30, porém seu uso para fins comerciais só aconteceu após 1980 (CARIJO; MAKISHIMA, 2000).

A hidroponia teve início na Inglaterra, quando um membro da sociedade real, John Woodward, iniciou seus estudos para entender como as plantas captam os nutrientes que necessitam da terra, e publicou em 1699 seu experimento com cultura em água. Com esse experimento ele queria determinar qual era o fator que nutria as plantas, se era a água ou as partículas sólidas do solo. Em 1804, com o avanço da química, Nicolas de Saussure determinou que as plantas necessitavam de algumas substâncias minerais para atingir um crescimento satisfatório (DOUGLAS, 2001).

Segundo Douglas (2001), os estudos que tornaram possível o desenvolvimento da cultura sem o uso de terra em laboratório foram conduzidos por Julios e Von Sachs na Universidade de Würzburg entre os anos de 1859 e 1865. Estes pesquisadores descobriram que em condições controladas de adubos e água era possível criar plantas, porém, apenas em 1930, Doutor W. F. Gericke, popularizou a técnica para ser usada fora dos laboratórios.

Quando suprida as necessidades, qualquer planta pode ser produzida no meio Hidropônico, ou seja, ajustando a disponibilidade e concentração de nutrientes e minerais na solução nutritiva é possível cultivar qualquer tipo de plantas (SILVA; MELO, 2003).

Atualmente se destacam quatro diferentes técnicas hidropônicas: (i) sistema de Fluxo Laminar de Nutrientes, em inglês chamado de *Nutrient Film Technique*, cuja sigla mais popular é NFT: trata-se de um método no qual a solução nutritiva circula

através do sistema, entrando em contato com as raízes das plantas durante um determinado período, (ii) sistema de Cultivo Imerso em Água, em inglês *Deep Film Technique* (DFT): trata-se de um método em que a solução nutritiva está armazenada em um reservatório com profundidade de 15 à 20 cm em forma de piscina, em que as raízes das plantas ficam submersas, (iii) sistema com substratos, cuja solução nutritiva circula no sistema como na técnica de NFT, com a adção de substratos ao sistema, como areia e serragem e (iv) Aeroponia, que consiste em ter a solução nutritiva aspergida nas raízes suspensas no ar (CARIJO; MAKISHIMA, 2000).

O método de cultivo hidropônico apresenta vantagens e desvantagens como qualquer outro método de cultivo, algumas vantagens apresentadas por Silva e Melo (2003) são:

- Como as plantas crescem em um ambiente controlado e com todas as suas necessidades atendidas, a produção tem tempo de colheita reduzido, maior qualidade do produto e maior produtividade;
- Não é necessário realizar rotação de cultura como ocorre no cultivo em solo;
- Menor uso de agrotóxicos;
- Maior durabilidade nas gondolas de mercado;
- A cultura hidropônica pode ser montada em qualquer local com disponibilidade de espaço.

As desvantagens do cultivo hidropônico apresentadas por Silva e Melo (2003) são:

- Custos iniciais elevados, tendo em vista a construção da estrutura necessária para iniciar;
- O conhecimento necessário para adequar e cuidar da solução nutritiva de acordo com cada cultivo;
- Morte de raízes, pragas e fungos que espalham de maneira sistêmica.

De acordo com Furtado (2008), o sucesso da técnica da hidroponia em cada cultura, está diretamente ligado ao correto manejo da solução nutritiva. Portanto, o profissional que tem o conhecimento necessário para realizar o manejo da solução, levando em conta o tipo de cultura, a época, maturidade da planta, temperatura e

indicadores, obterá um produto com maior qualidade, maior durabilidade e menor tempo de maturação.

2.2 Sistemas microcontrolados

O microcontrolador é um circuito integrado que têm as partes básicas de um microcomputador, portas de entrada e saída, memória e microprocessador, em geral são limitados por memória de dados e são amplamente utilizados quando tem-se o objetivo de realizar aplicações que exigem pouco processamento e memória, ao qual seria muito dispendioso o uso de um microprocessador (GIMENEZ, 2015).

A escolha do microcontrolador depende da necessidade de processamento, memória, disponibilidade de ferramentas para realizar as tarefas necessárias e fontes confiáveis de pesquisa e suporte (MAZIDI; MCKINLAY; CAUSEY, 2008).

2.2.1 ATmega2560 E Placa De Desenvolvimento Arduino

O Arduino é uma placa de desenvolvimento de código aberto criada em 2005 no Instituto de Interação e Design, em Ivrea na Itália, que surgiu através da necessidade que o professor Massimo Banzi tinha de tornar a tecnologia mais barata e acessível para os estudantes do instituto, sem eles necessitarem ter um conhecimento aprofundado em eletrônica e programação (EVANS; NOBLE; HOCHENBAUM, 2013).

De acordo com o site do Arduino, ao longo dos anos, a placa de desenvolvimento tem sido usada em milhares de projetos desde o uso para Hobbies, até o uso acadêmico ou profissional, e esse uso numa plataforma de código aberto, gerou muito conteúdo e informação que pode ajudar desde pessoas que estão iniciando, até profissionais que trabalham com a placa de desenvolvimento (ARDUINO, 2022).

O Arduino é uma das plataformas de desenvolvimento para o AVR, que é um microcontrolador baseado na arquitetura RISC, do inglês *Reduced Instruction Set Computer*; em tradução livre, computador com um conjunto reduzido de instruções, podendo executar instruções em um único ciclo de clock, que foi projetado e otimizado

para permitir que ele tenha uma maior eficiência quando comparado a velocidade de processamento e o consumo (ATMEL, 2014).

A placa de desenvolvimento Arduino Mega tem integrado o microcontrolador ATmega2560 que conta com diversas entradas e saídas integradas a diferentes periféricos, tais como: comunicação UART, I2C, SPI, PWM e conversão analógica - digital. Devido a essas características do ATmega2560 e a facilidade de prototipação utilizando uma placa de desenvolvimento, o Arduino é amplamente utilizado em diversos projetos (ARDUINO, 2022).

2.2.2 Comunicação TWI

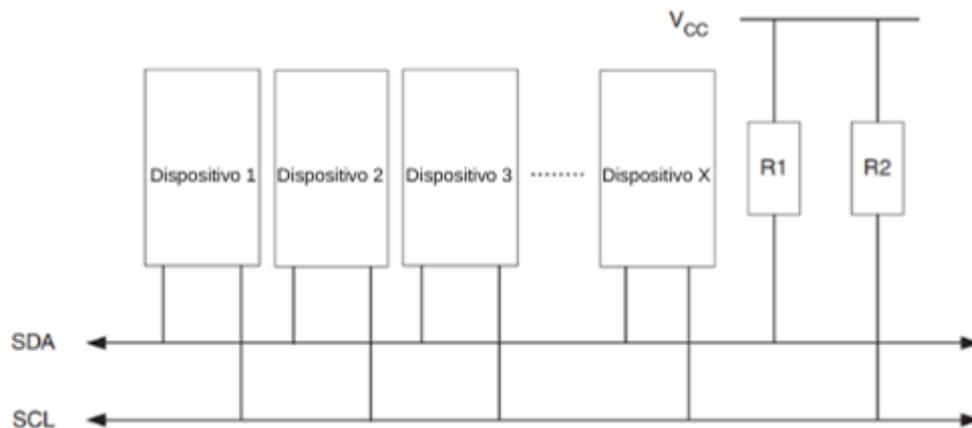
Dentre os periféricos disponíveis no ATmega2560, o barramento TWI (*two wire interface*) também conhecido como I2C (*Inter-Integrated Circuit*) é um dos mais utilizados para interfaceamento de sensores e expansão das portas de entrada e saída de microcontroladores (GAY, 2018).

A interface serial de 2 fios (TWI, *two wire interface*) originalmente foi criado pela Phillips e trata-se de um protocolo de comunicação serial que utiliza apenas dois fios para comunicação (GAY, 2018).

O protocolo de comunicação permite ao projetista de sistemas conectar até 128 dispositivos diferentes usando apenas duas linhas de barramento bidirecionais, como pode ser visualizado na Figura 2, uma para o *clock* (SCL) e uma para os dados (SDA), cada dispositivo ligado ao TWI deve possuir um endereço único para ser acessado (ATMEL, 2014).

A Figura 2 representa o modo que a ligação TWI é feita entre os dispositivos, sendo R1 e R2 resistores de *pull-up*, SDA e SCL são portas do microcontrolador específicas para esse tipo de comunicação e VCC é a fonte de alimentação.

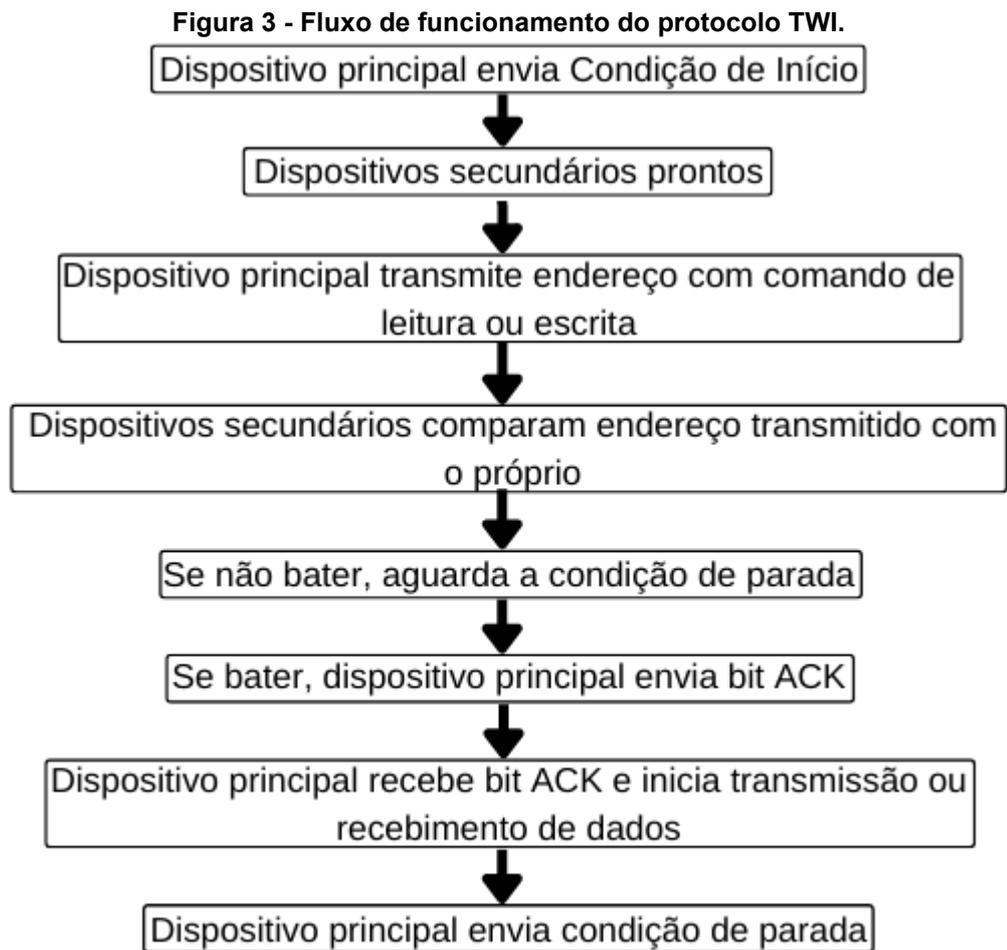
Figura 2 - Exemplificação da comunicação TWI.



Fonte – Adaptação Atmel (2014, p. 235);

O protocolo TWI, exemplificado no fluxograma da Figura 3, consiste em um dispositivo principal que envia uma condição de início e que será recebida por todos os dispositivos conectados ao barramento.

Após finalizada a transmissão da condição de início, é transmitido o endereço do dispositivo que se quer enviar ou receber dados, caso um dispositivo com aquele endereço esteja conectado na rede, o dispositivo irá enviar um bit de ACK, que confirmará que ele está conectado e preparado para se comunicar, após o recebimento do ACK o dispositivo começa a receber ou transmitir os dados, quando a transmissão finalizar, o dispositivo principal envia uma condição de encerramento (MANKAR et al., 2014).



Fonte – Adaptado de Mankar *et al.* (2014, p. 4).

2.3 Sistemas microcontrolados aplicados à automatização de processos na hidroponia

A cultura de hidroponia contém vários processos que podem ser automatizados visando melhorar a eficiência do processo, e alguns desses processos podem ser automatizados usando sistemas microcontrolados.

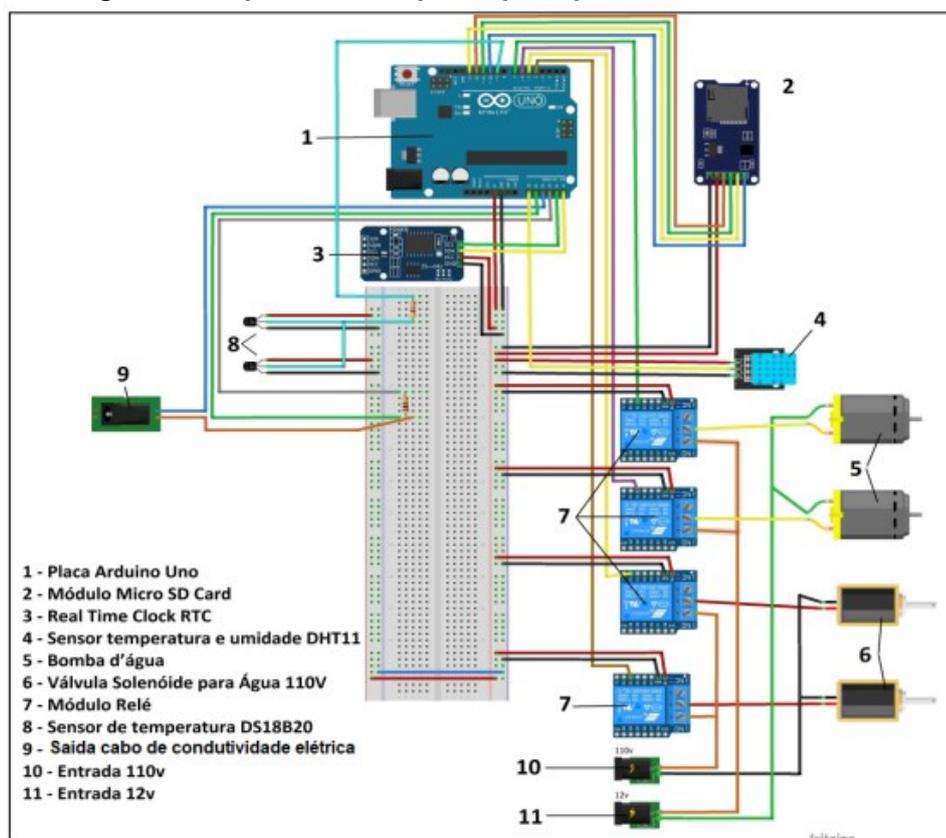
Carlet (2019), em sua dissertação de mestrado, automatizou o controle de temperatura e condutividade elétrica de uma solução hidropônica que foi utilizada para o cultivo de alface, utilizando a placa de desenvolvimento Arduino (CARLET, 2020).

O projeto teve como foco principal automatizar o cultivo de alface no sistema hidropônico, ou seja, realizar o controle de condutividade elétrica, nutrientes, temperatura da solução e temperatura do ambiente com o objetivo de melhorar o desenvolvimento e a produtividade das plantas (CARLET, 2020).

De acordo com Carlet (2020), o projeto desenvolvido fazia a água dos tanques circular em determinados horários utilizando as bombas, e ajustava a condutividade elétrica da solução usando de um condutivímetro implementado através do Arduino, que fazia a aquisição dos níveis de condutividade elétrica e quando abaixo do esperado, acionava as válvulas para alimentar os tanques com mais solução nutritiva.

O esquemático do protótipo do projeto implementado por Carlet (2020) pode ser visualizado abaixo na Figura 4.

Figura 4 - Esquemático do protótipo implementado no mestrado.



Fonte – Carlet (2019, p. 41).

Carlet (2020) concluiu que automatizar o uso de sensores e coleta de dados otimiza os custos de produção e torna as leituras mais profissionais e eficientes, e ressalta que essa automação aproxima a cultura hidropônica da agricultura 4.0.

Silva *et al.* (2017) projetaram um dispositivo usando o Arduino com o objetivo de monitorar temperatura, umidade relativa do ar e a temperatura da solução nutritiva em um sistema de cultivo submerso durante 14 dias, os autores concluíram que ao automatizar o processo de captura de dados permitiu um monitoramento contínuo do

sistema hidropônico e dessa maneira possibilita o estudo dos efeitos que as condições citadas exercem sobre o sistema.

Eridani, Wardhani e Widiyanto (2017) apresentaram o projeto de um sistema de automação utilizando o Arduino e um sensor de sólidos totais dissolvidos (TDS), com o intuito de fazer a realimentação da solução nutritiva de um sistema hidropônico, analisava qual era a quantidade de partículas totais na água, e de acordo com os parâmetros determinados no código, o Arduino decidia se era necessário alimentar o sistema hidropônico com os nutrientes do tanque 1, 2 ou com água, como pode ser visto na Figura 5 .

Figura 5 - Sistema de automação de Hidropônia.



Fonte – Eridani (2017, p. 4).

O sistema microcontrolado era capaz de medir o nível da água, caso esse estivesse fora da faixa aceitável, o microcontrolador alimentava o sistema hidropônico com água, o sistema também era capaz de medir a quantidade de sólidos totais no tanque, e caso esse número de partículas estivesse fora do esperado, o sistema era alimentado com os reservatórios 1 e 2 (ERIDANI; WARDHANI; WIDIANTO, 2017).

O estudo concluiu que o uso do sensor de sólidos totais para a substituição do condutivímetro é eficaz para a automatização de um sistema NFT, ou seja, a partir

do número de partículas na solução nutritiva, o sistema é capaz de realimentar com nutrientes de forma eficiente e confiável mantendo os níveis de condutividade elétrica desejados (ERIDANI; WARDHANI; WIDIANTO, 2017).

O crescimento de alguns tipos de plantas e vegetais em situações extremas como nos polos ou no deserto é um grande desafio por conta do clima extremo que esses locais tem, dessa forma Palande, Zaheer e George (2017) desenvolveram um sistema microcontrolado com mínima interferência humana, em que plantadas as plantas e vegetais escolhidos e configurados os parâmetros iniciais, o sistema se manteria e de forma a existir um monitoramento remoto foi usado uma rede de internet das coisas.

O protótipo foi construído com o uso de duas placas de desenvolvimento Arduino, para analisar os dados captados pelos sensores e realizar o controle do sistema, e para a criação da rede da internet das coisas foi usado um Raspberry PI que era responsável por realizar a comunicação com o servidor e enviar e receber dados dos Arduinos, sendo possível a visualização do servidor pelo celular (PALANDE; ZAHEER; GEORGE, 2017).

Palande, Zaheer e George (2017) desenvolveram um sistema hidropônico automatizado e remotamente controlado, capaz de realizar a manutenção dos parâmetros necessários para o crescimento das plantas e verduras, isso com um baixo custo e é fácil de ser usado por um trabalhador comum.

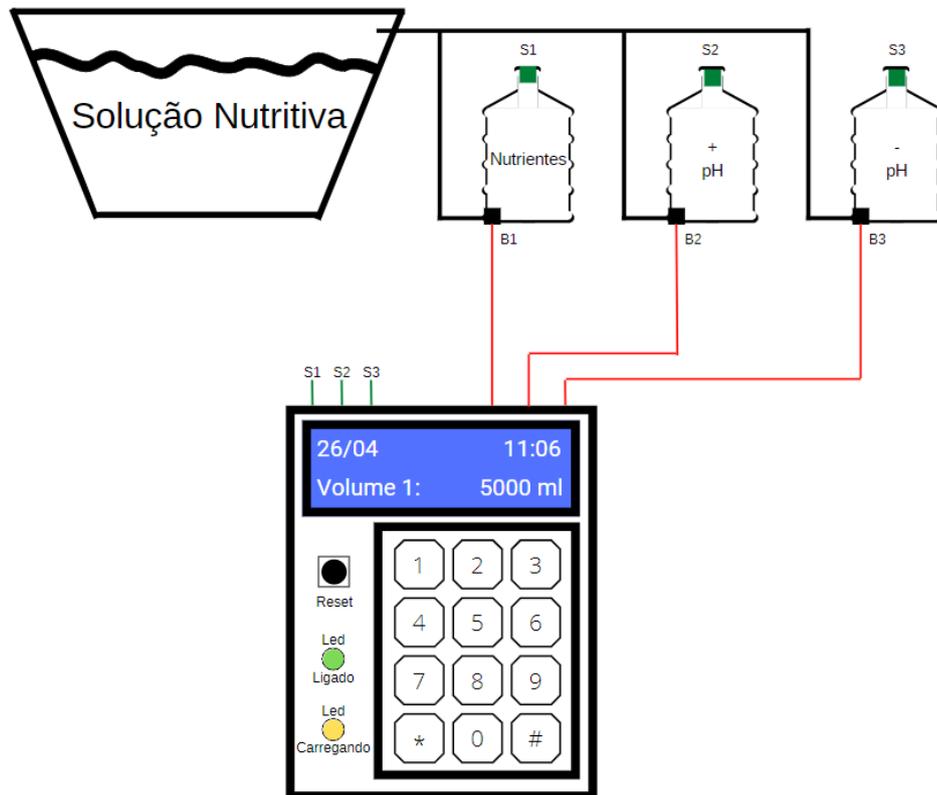
3 METODOLOGIA

Com o objetivo de tornar esse trabalho reproduzível e explicar os seus resultados obtidos, este tópico aborda os materiais e métodos utilizados para o projeto e execução do protótipo.

3.1 Visão geral do projeto

O presente trabalho foi desenvolvido através de uma abordagem quantitativa, sendo uma pesquisa que visa à construção de um protótipo o qual tem o objetivo de automatizar parte do processo de um cultivo hidropônico. A visão geral do sistema desenvolvido pode ser visualizada na Figura 6.

Figura 6 - Protótipo de automação do processo de realimentação da solução nutritiva e ajuste do pH.



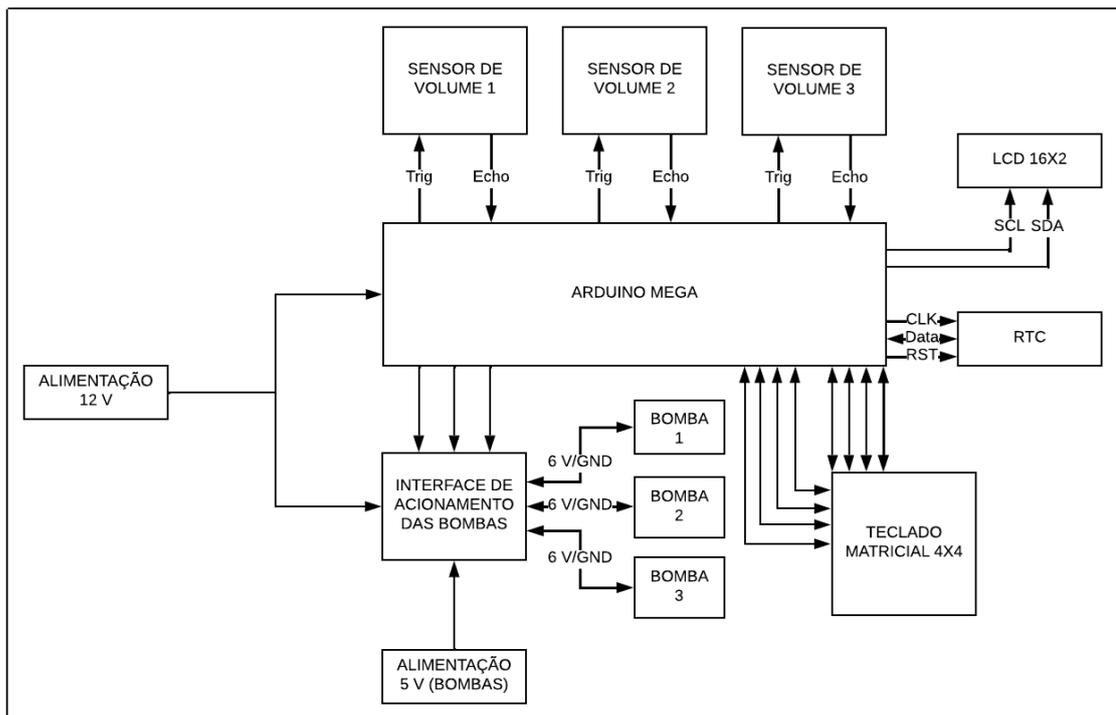
Fonte – Autoria Própria (2022).

Como pode ser observado na Figura 6, o sistema é composto por três mini bombas d'água com alimentação de 5 V (B1, B2 e B3) e três sensores HC-SR04 (S1,

S2 e S3), cada qual realiza o monitoramento e controle de vazão de cada reservatório. O visor, implementado com um *display* LCD 16x2, e o teclado executam a função de interface com o usuário, que pode configurar data, hora, dia, mês, aplicação imediata e aplicação periódica. Os LEDs são indicadores, o LED amarelo (LED Carregando) é acionado quando o protótipo está sendo iniciado ou executando uma função. Quando as mensagens estão apenas sendo exibidas no visor, apenas o LED verde (LED Ligado) permanece acionado. O botão *reset* tem a função de reiniciar e voltar o dispositivo às configurações iniciais.

O Diagrama em blocos do sistema desenvolvido é apresentado na Figura 7.

Figura 7 - Diagrama inicial do projeto.



Fonte – Autoria própria (2022).

Para a confecção do dispositivo utilizou-se a placa de desenvolvimento Arduino Mega2560, que conta com o microcontrolador ATmega2560 que é o responsável por realizar o controle e aquisição dos dados de todos os periféricos.

Além dos periféricos já apresentados, o dispositivo conta com um relógio de tempo real, DS-1302, que exerce a função de contar o tempo independente do microcontrolador, provendo data e horário com precisão, mesmo que o dispositivo sofra desligamentos por razões adversas.

O desenvolvimento do projeto iniciou com a idealização de um produto, que partiu da ideia de automatizar um dos processos presentes na hidroponia, foi escolhido o processo de reposição da solução nutritiva, e o produto final imaginado é apresentado na Figura 6. Após a ideia inicial ser formada, foi implementada a interface dos componentes e periféricos com o microcontrolador, o planejamento e construção do código, o projeto e construção do módulo e por fim os testes e ajustes finais, essas foram as etapas seguidas para atingir o produto final.

O primeiro passo para o desenvolvimento do trabalho foi o estudo sobre hidroponia e trabalhos semelhantes, alguns até citados anteriormente, e idealização dos recursos necessários para a construção do protótipo.

3.2 Interfaceamento dos periféricos

O desenvolvimento do projeto depende do acionamento e leitura de diferentes periféricos, tais como sensor de distância (HC-SR04), teclado matricial e display LCD. A estratégia de desenvolvimento utilizada foi interfacear cada dispositivo ao ATmega2560 e realizar testes individuais para posteriormente desenvolver a lógica de programação do dispositivo completo.

Para programar o microcontrolador ATmega2560 foi usado o software Microchip Studio fornecido gratuitamente, que é uma IDE (Ambiente de desenvolvimento integrado) que fornece recursos e ferramentas que facilitam o desenvolvimento e depuração de códigos para microcontroladores AVR e SAM (MICROCHIP,2022).

A seguir são apresentadas as principais informações quanto ao interfaceamento dos periféricos (i) Bomba d'água, (ii) sensor de distância HC-SR04, (iii) teclado matricial, (iv) relógio em tempo real DS-1302, e (v) display LCD.

3.2.1 Bomba D'água

O primeiro periférico testado foi a bomba de água, Figura 8, o equipamento apresenta uma corrente máxima de 200 mA, uma elevação de até 1 m e uma vazão de água estimada de 1 a 1,5 litros de água por minuto (ELETROGATE, 2022). De forma a realizar seu acionamento foi utilizado um *drive* via transistores e acionamento

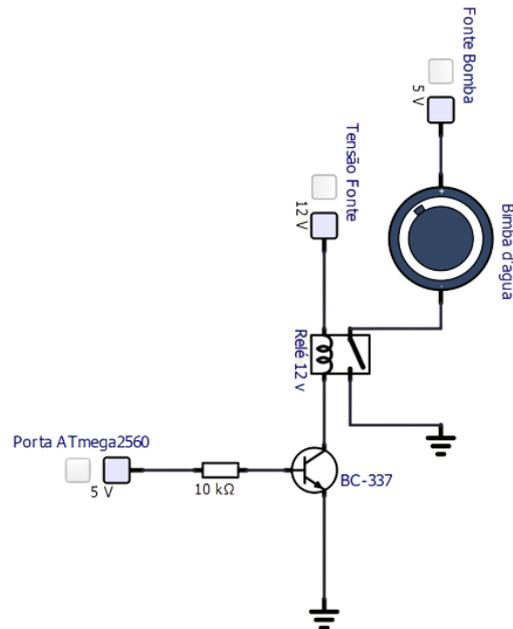
de potência via relé 12 V, como apresentado no circuito da Figura 9. Desta forma, via uma saída digital do ATmega2560, pode-se definir nível lógico alto para fazer o acionamento do circuito e nível lógico baixo para desligar.

Figura 8 - Minibomba da água.



Fonte – Aatoria Própria (2022).

Figura 9 - Drive de acionamento via transistor e acionamento de potência via relé 12V.



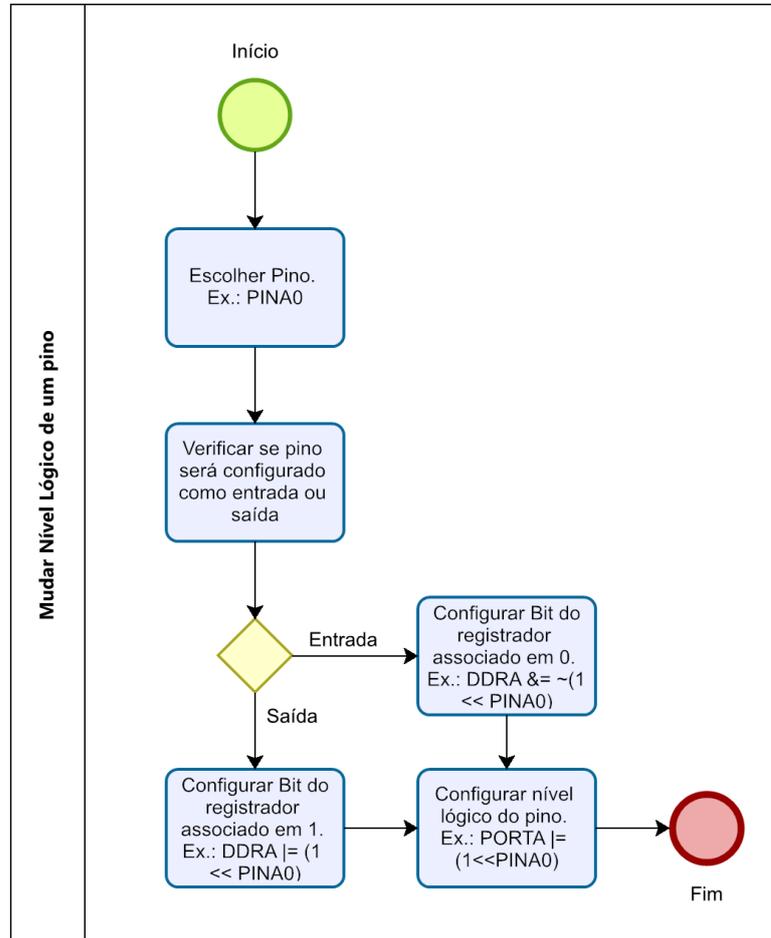
Fonte – Aatoria própria (2022).

De modo a mudar o estado lógico de um pino do ATmega2560 é necessário selecionar um dentre os 54 pinos digitais disponíveis no microcontrolador, identificar a qual porta e registrador ele está associado e assim atribuir valores de 8 bits a porta e ao registrador de forma que seja possível mudar o nível lógico do pino selecionado.

Na Figura 10 pode ser observado um exemplo de mudança de nível lógico, escolhido o pino A0, a nomenclatura PINA0 representa o bit 0, e configurando ele como saída, $DDRA |= (1 \ll PINA0)$ essa nomenclatura representa uma operação

lógica OU dos bits do registrador com 0000 0001, e escolher o nível lógico que o pino vai assumir, 1 para alto e 0 para baixo.

Figura 10 - Alterar nível lógico de um pino.

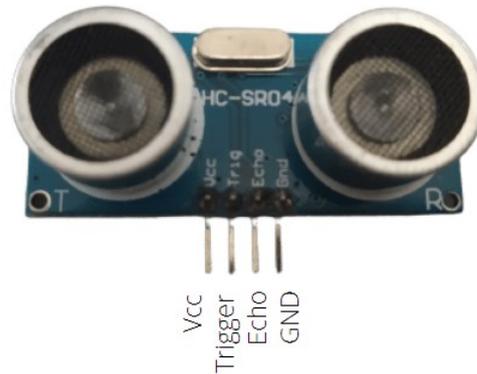


Fonte – Autoria Própria (2022).

3.2.2 Sensor Ultrassônico Hc-Sr04

O sensor de distância HC-SR04, Figura 11, funciona como um emissor e receptor de ondas, então ele emite uma onda ultrassônica e aguarda receber essa onda novamente, que é quando acontece uma colisão da onda com um objeto. O sensor tem tensão e corrente de trabalho de 5 V e 15 mA, respectivamente, e pode medir de 2 cm a 4 m (ELECTFREAKS, 2013).

Figura 11 - Sensor Ultrassônico HC-SR04.

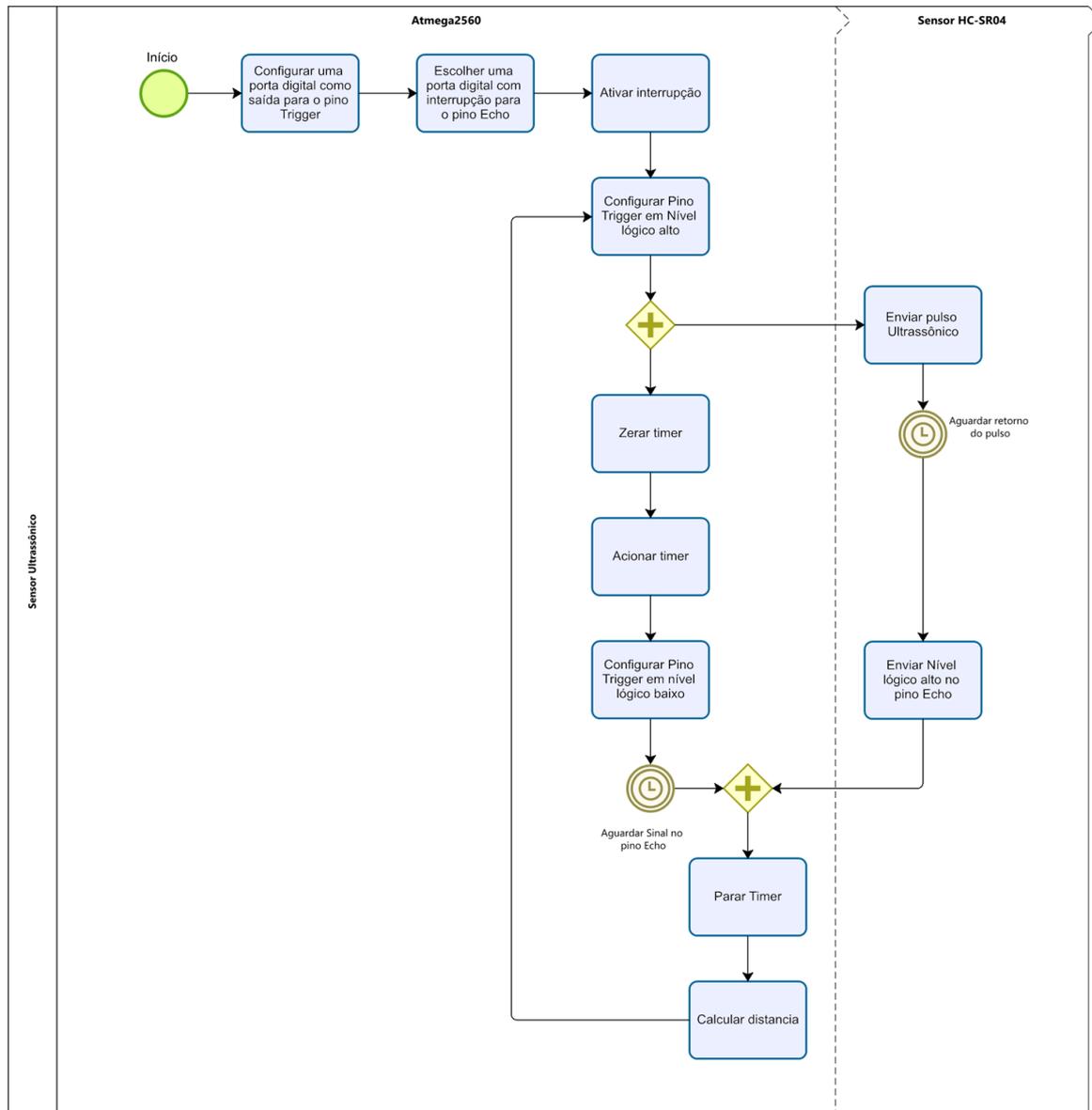


Fonte – Aatoria Própria (2022).

Para realizar a leitura deste módulo ultrassônico, é necessário ativar uma interrupção por mudança de estado na porta “*Echo*” do sensor, e ativar um nível lógico alto na porta “*Trigger*” por um determinado período de tempo e logo após desativar, isso fará o sensor enviar um pulso ultrassônico e ativar o *timer*, que vai ser desativado quando o sensor receber o eco da onda enviada, e colocar o pino de “*Echo*” em nível lógico alto, ativando a interrupção e parando o *timer*.

Para calcular a distância percorrida pela onda, é necessário apenas multiplicar o tempo do *timer* pela velocidade do som, e depois dividir por dois, obtendo a distância do objeto do sensor, esse fluxo de funcionamento pode ser visto na Figura 12.

Figura 12 - Funcionamento sensor ultrassônico.



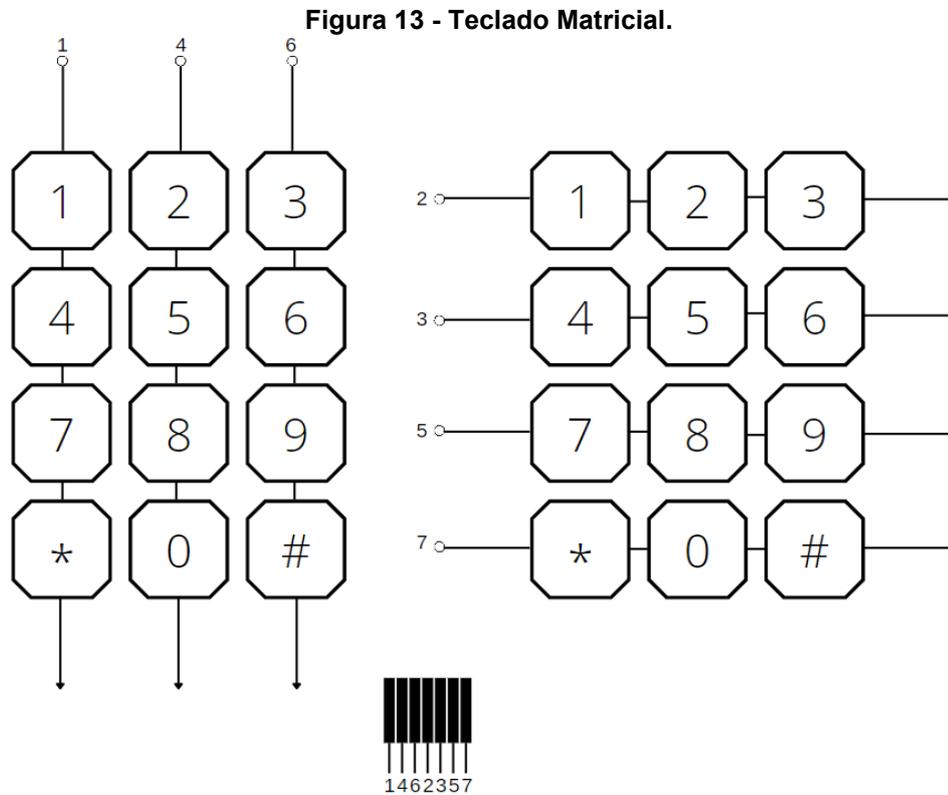
Fonte – Autoria Própria (2022).

3.2.3 Teclado Matricial

A interface do teclado matricial de 4 linhas e 3 colunas, conforme apresentado na Figura 13, é feita a partir de um código que varre as linhas, em que uma linha por vez é ativada e verificado se algum botão foi pressionado.

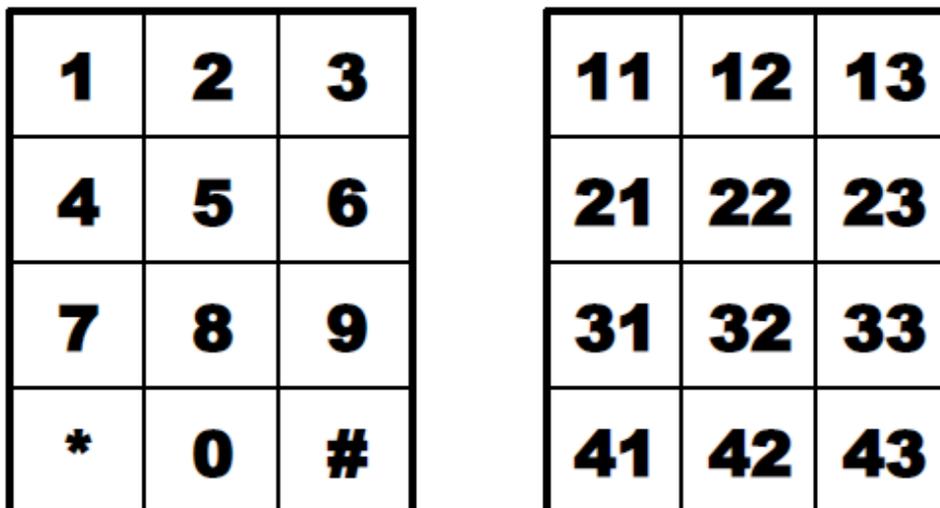
Cada iteração do código, uma linha diferente recebe nível lógico alto e o programa verifica se existe uma coluna que teve seu valor alterado, quando um pino que representa uma coluna assume nível lógico alto, é atribuído um valor para essa

combinação de linha e coluna, que é correspondente a matriz 4x3 do teclado, Figura 14.



Fonte – Autoria própria (2022).

Figura 14 - Correspondência do teclado matricial.

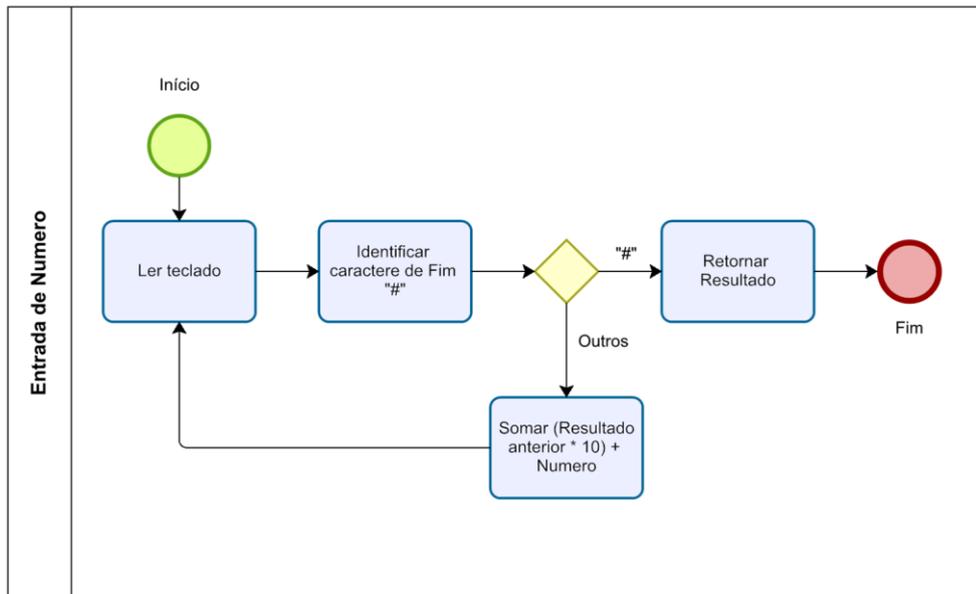


Fonte – Autoria Própria (2022).

Dessa forma é possível identificar a entrada de um caractere dependendo do botão apertado, mas para identificar a entrada de números maiores que um caractere

é necessário a formulação de um código mais robusto, como pode ser visto na Figura 15.

Figura 15 - Código para reconhecer a entrada de um número.



Fonte – Aatoria própria (2022).

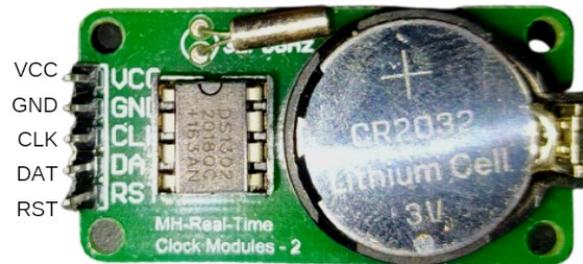
Na Figura 15 é possível observar o fluxo de funcionamento para que o microcontrolador receba um número maior que nove do teclado, para isso é executada a função de leitura do teclado, quando um caractere for pressionado o programa identifica se esse é o caractere de identificação (“#”), caso contrário, o número identificado é somado com o resultado anterior multiplicado por dez, e segue desse modo até o caractere de identificação ser pressionado e retornar o número que o usuário digitou.

3.2.4 Relógio De Tempo Real DS-1302

Relógio de tempo real, tradução livre para *Real Time Clock* (RTC), Figura 16, contém um relógio e calendário em tempo real e 31 bytes de memória RAM estática, o RTC fornece e armazena os segundos, minutos, horas, dia, data, mês e ano, o ajuste de datas dos meses com menos de 31 dias e ano bissexto são automáticos, o modo de operação do relógio pode ser no formato 24 ou 12 horas com indicador AM/PM. A interface do DS1302 com um microprocessador é feita usando comunicação serial

síncrona na qual somente três fios são necessários para se comunicar com o dispositivo: CLK, DAT e RST (MAXIM INTEGRATED, 2015).

Figura 16 - Relógio de tempo real (RTC).



Fonte – Aatoria Própria (2022).

A interface desse periférico foi feita com o auxílio de uma biblioteca externa que prove função para fazer a leitura e escrita na memória do RTC.

3.2.5 Visor LCD 16x2 Com módulo I2C

O visor LCD, sigla para *Liquid Crystal Display*, em tradução livre tela de cristal líquido, conforme apresentado na Figura 17, faz parte da interface com o usuário, junto com o teclado matricial. Ele é composto por 16 colunas e 2 linhas com a escrita na cor branca e sua luz de fundo azul para exibição dos caracteres, letras e números. O Display LCD 16x2 utiliza o controlador HD44780, que pode ser operado em 4 ou 8-bits paralelamente. A conexão com o microcontrolador é feita através de 16 pinos, sendo 11 como pinos de entrada e saída e os demais pinos para ajuste de contraste e alimentação da luz de fundo (SHENZHEN EONE ELECTRONICS CO., LTD, V1.2).

Figura 17 - Visor de cristal líquido 16x2.



Fonte – Aatoria Própria (2022).

De modo a realizar a interface entre o visor LCD e o ATmega2560 foi usado um módulo I2C PCF8574, um expensor de 8 bits de portas de entradas e saídas usando a conexão I2C (TEXAS INSTRUMENTS, 2015).

O código de interface com o dispositivo foi feito usando duas bibliotecas auxiliares externas “*liquid_crystal_i2c*” e a “*i2c_master*”.

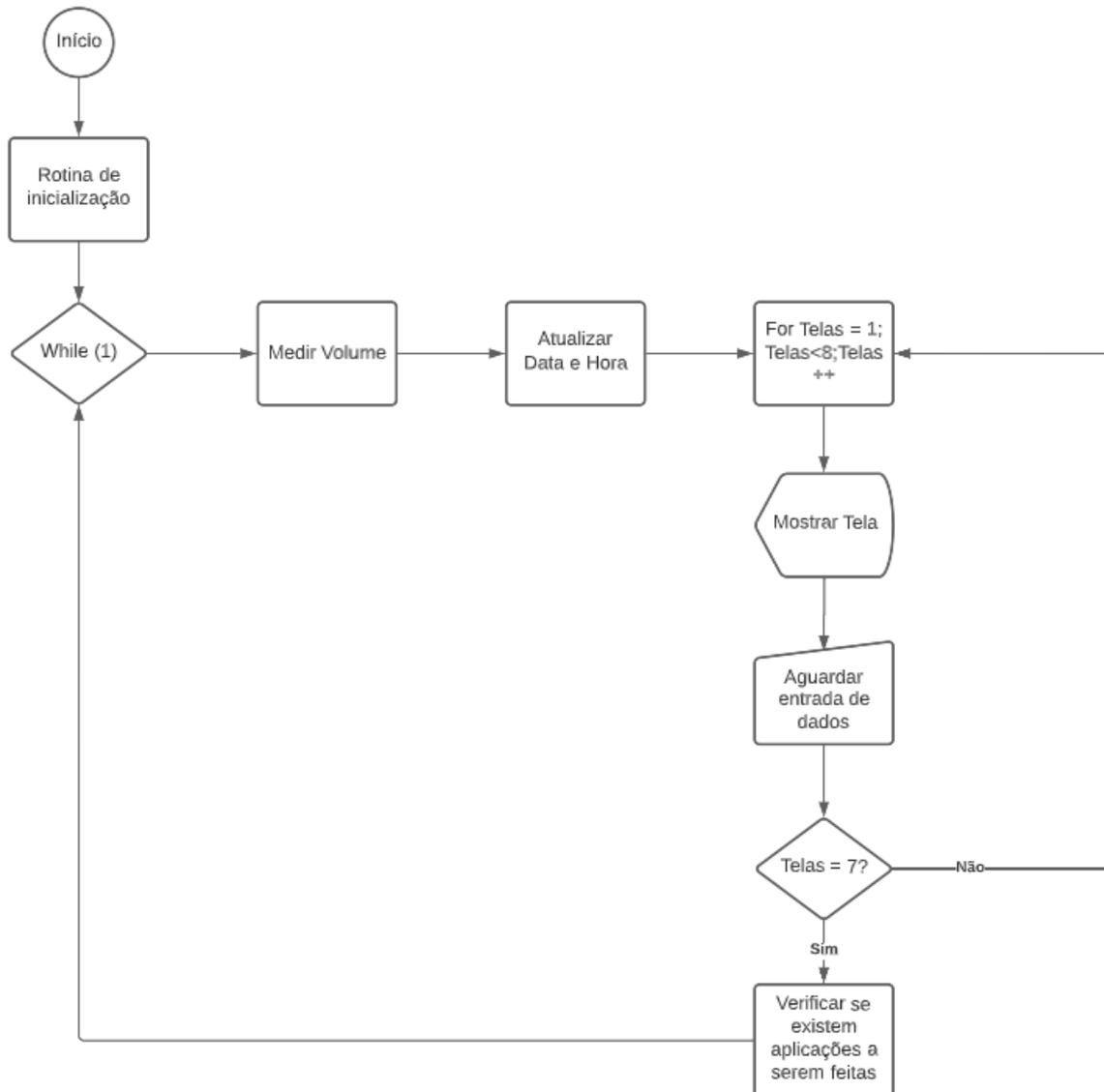
3.3 Planejamento do código

O planejamento do código foi feito usando fluxogramas, com o objetivo de indicar como será o funcionamento do programa de acordo com as funções criadas, representar e apresentar qual o funcionamento de cada parte do código, que dita como o protótipo vai se portar, e indicar que função ele vai executar dependendo de cada situação.

A Figura 18 mostra a caixa de processo do fluxo de inicialização do programa, primeiramente é iniciada a comunicação I2C e o LCD em modo 8 bits 2 linhas com a luz de fundo ligada, é enviada uma mensagem para o visor com o intuito de tornar a inicialização visual, posteriormente o relógio de tempo real DS-1302 e por último são iniciados os sensores de distância e suas interrupções.

A Figura 18 mostra o fluxo do *loop* principal do código, ou seja, é a rotina que se repete enquanto não tem nenhuma entrada de dados. Inicialmente são medidos os volumes dos reservatórios, atualizada a data e hora a partir do RTC e a inicia-se um *loop* responsável por mostrar informações relevantes.

Figura 18 - Fluxograma do loop principal do código.



Fonte – Autoria Própria (2022).

O sistema apresenta 8 telas padrões, que se repetem até que uma função seja chamada ou alguma aplicação ocorra. As telas 1 a 3, mostram o dia, o mês, as horas e os minutos na primeira linha do visor e na segunda linha é mostrado o volume atual dos reservatórios.

As telas 4 a 6 mostram também a data e hora na primeira linha, e na segunda linha do visor, elas mostram quando é a próxima aplicação de cada substância.

As telas 7 e 8, mostram as funções e configurações disponíveis no dispositivo, pressionada a tecla 1, abre a opção de configuração de aplicação, pressionada a tecla 2, abre a configuração de aplicação imediata, as teclas 3 e 4 servem para configurar hora e data, respectivamente.

Ao pressionar as teclas de funções, o visor mostra qual função foi chamada e pede as informações necessárias, caso as informações estejam dentro do padrão, as informações são gravadas ou alteradas.

3.4 Construção do código

Concluída a interface dos periféricos e o planejamento do código, as partes foram estruturadas de forma a integrar todos os componentes, dessa forma, o código está organizado da seguinte maneira: as definições de registradores, pinos, portas, frequência de funcionamento e constantes, logo após as bibliotecas nativas do *microchip studio*, em seguida as bibliotecas externas, sejam elas autorais ou não, os protótipos das funções, as variáveis globais, a função principal, as funções e as interrupções.

3.5 Projeto do módulo

O módulo é um dispositivo que facilita a interface entre o microcontrolador e os periféricos utilizados para realizar as funções propostas do protótipo. Para a construção do módulo, foi utilizado o programa EAGLE, que é um *software* de automação e *design* de placas e circuitos eletrônicos, disponibilizado na sua versão estudante pela *Autodesk*, que facilita a construção e projeto de placas de circuito impresso (PCI), através das ferramentas disponibilizadas (AUTODESK, 2022).

De modo a criar um módulo a ser encaixado no Arduino, foram adicionados pinos que representam cada periférico, que são ligados diretamente no Arduino Mega, e os outros componentes necessários, como pode ser visto na Figura 19.

Na figura 19 em A estão alocadas as conexões com os periféricos, em B está o botão responsável por realizar o *reset* do sistema, em C estão representados os LEDs indicadores, em D os resistores de *pull-up* necessários para a comunicação TWI e os resistores de *pull-down* para aterrar os pinos do teclado, e em E estão as entradas de alimentações do protótipo e das bombas.

No esquemático em F é possível observar o acionamento das bombas, que é feito através de três relés, acionados por três transistores BC337 configurados como chave eletrônica, na qual o resistor escolhido foi com base no cálculo do transistor em

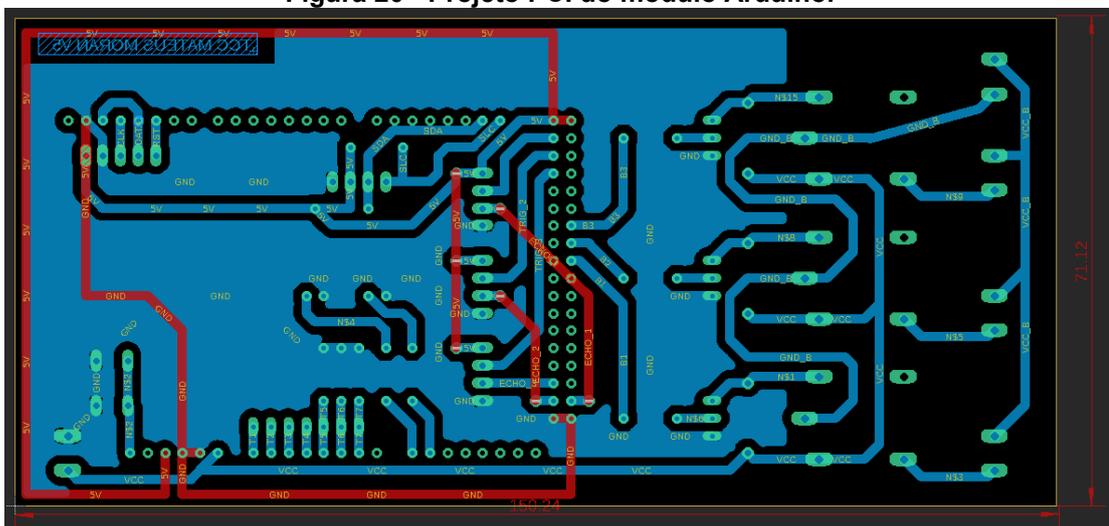
corrente contínua, considerando sua tensão coletor-emissor como zero, e com diodos de roda livre nos relés para evitar que os transistores sejam queimados, e para finalizar em G estão as saídas das bombas.

3.6 Construção do módulo

Após o projeto do módulo através do programa EAGLE, foi possível fazer o roteamento da placa de circuito impresso (PCI), que foi feito manualmente, sem o uso da ferramenta que faz o roteamento automático, usando uma trilha de 1,27 mm.

O roteamento, que pode ser visto na Figura 20, começou pelo acionamento das bombas, os periféricos foram bem trabalhosos para serem roteados, devido às trilhas sempre coincidirem, então por algumas vezes as portas utilizadas foram realocadas para evitar conflitos.

Figura 20 - Projeto PCI do módulo Arduino.



Fonte – Autoria Própria (2022).

Após o roteamento da placa, o circuito foi impresso em papel fotográfico usando uma impressora a laser e usado o processo de termo transferência para transferir o circuito para a placa de fenolite. Com a transferência concluída a placa foi submersa em perclorato de ferro, para que a substância pudesse corroer as áreas em que não houvesse tinta, com a corrosão concluída, foi testada a continuidade das trilhas, o circuito reconferido, feito os furos, aplicada uma solução de álcool com breu para proteger a placa e os componentes foram soldados.

3.7 Testes

Foram realizados os seguintes testes para a construção do protótipo.

- Teste de funcionamento do sensor de volume

Para o teste de funcionamento dos sensores, foram feitos dois testes, um para medir a distância de um objeto, e outro para medir a distância da água, nos dois testes usando de 5 distâncias conhecidas: 1 cm, 3 cm, 5 cm, 15 cm e 25 cm.

O código usado para a medição é o mesmo utilizado no projeto, porém adicionando a comunicação UART para fazer a aquisição dos dados no computador, sendo assim, o código é executado por aproximadamente 20 segundos por medida, e os valores transferidos para o Excel, no qual foram tratados, e obtidos os dados estatísticos de erro médio e desvio padrão.

- Cálculo de Vazão da bomba

O cálculo de vazão da bomba foi realizado acionando cada bomba por 10 segundos 10 vezes, 20 segundos 10 vezes e 30 segundos 10 vezes em cima de uma balança doméstica de cozinha, com faixa de operação de 1 g a 10 Kg.

Após as amostras coletadas, o reservatório foi alimentado com 25 cm de água útil e a bomba acionada, e foi cronometrado o tempo e medida à vazão da balança nesse período com o auxílio da balança.

Finalizada a aquisição dos dados, avaliou-se o desempenho a partir da média de vazão e cálculo do desvio padrão comparados com o valor descrito pelo fabricante.

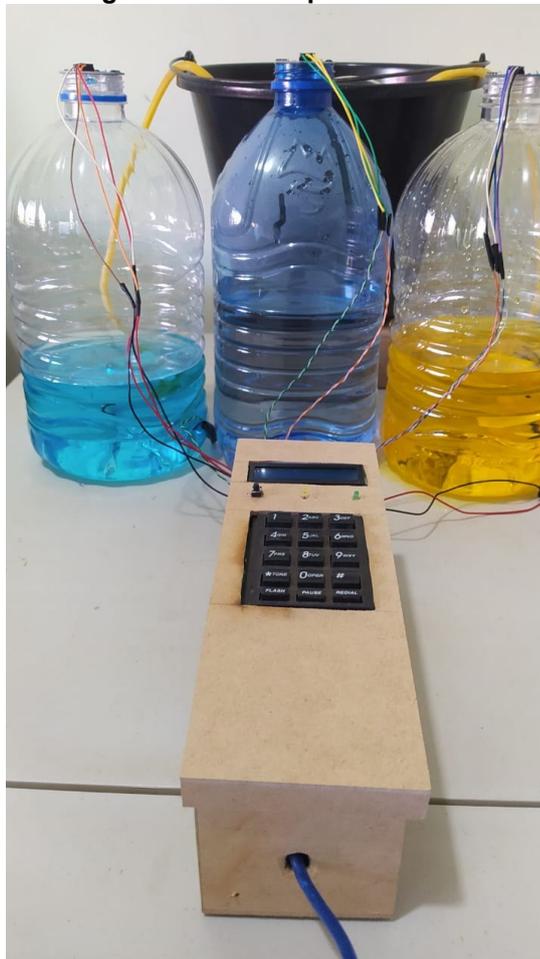
- Testes das funções do projeto

As funções implementadas no projeto foram testadas uma a uma, como os acionamentos de bombas, as configurações de Data, hora, dia e mês e as configurações de aplicação.

4 RESULTADOS OBTIDOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos seguindo as etapas descritas no capítulo anterior. A Figura 21 apresenta o produto final simulando a sua instalação em um sistema hidropônico. O protótipo está alocado em uma caixa de MDF com dois LEDs indicadores, um botão de *reset*, o teclado matricial e o visor LCD. Atrás estão representados os reservatórios contendo cada um uma bomba d'água e um sensor HR-SR04, e representando o tanque de solução nutritiva, o balde preto, que recebe as soluções.

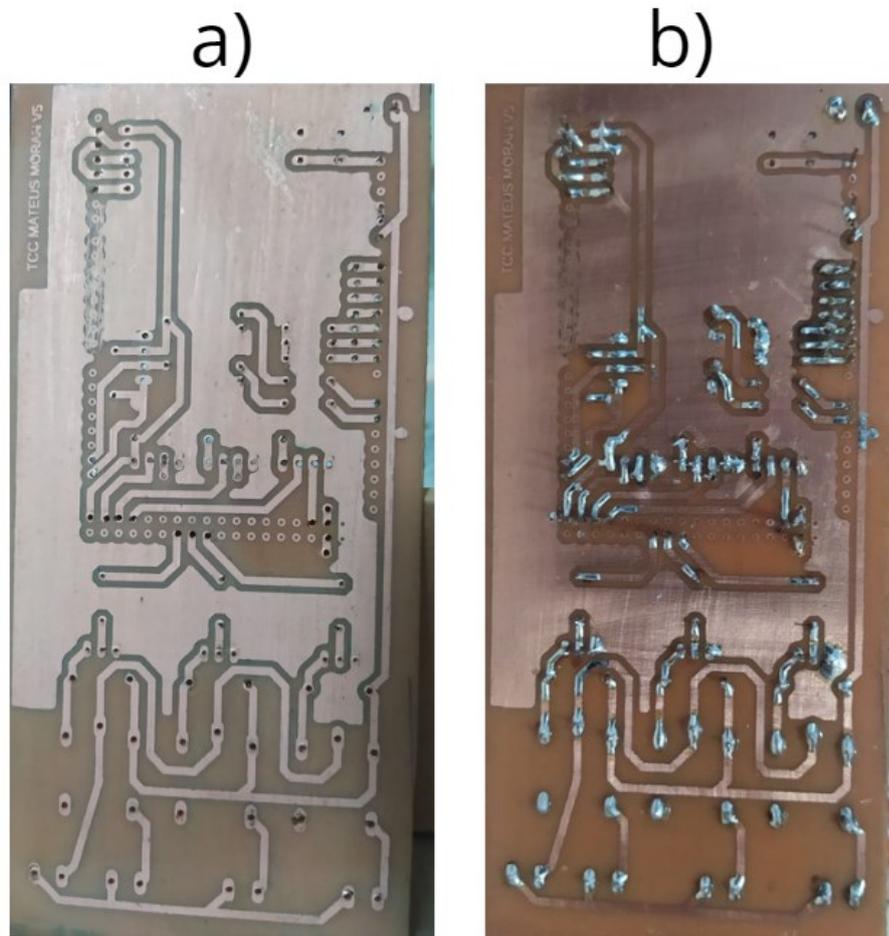
Figura 21 - Protótipo finalizado.



Fonte – Autoria Própria (2022).

A Figura 22 a) apresenta a PCI corroída e perfurada e a Figura 22 b) apresenta a PCI após serem soldados os componentes.

Figura 22 - a) PCI corroída e perfurada b) PCI finalizada.

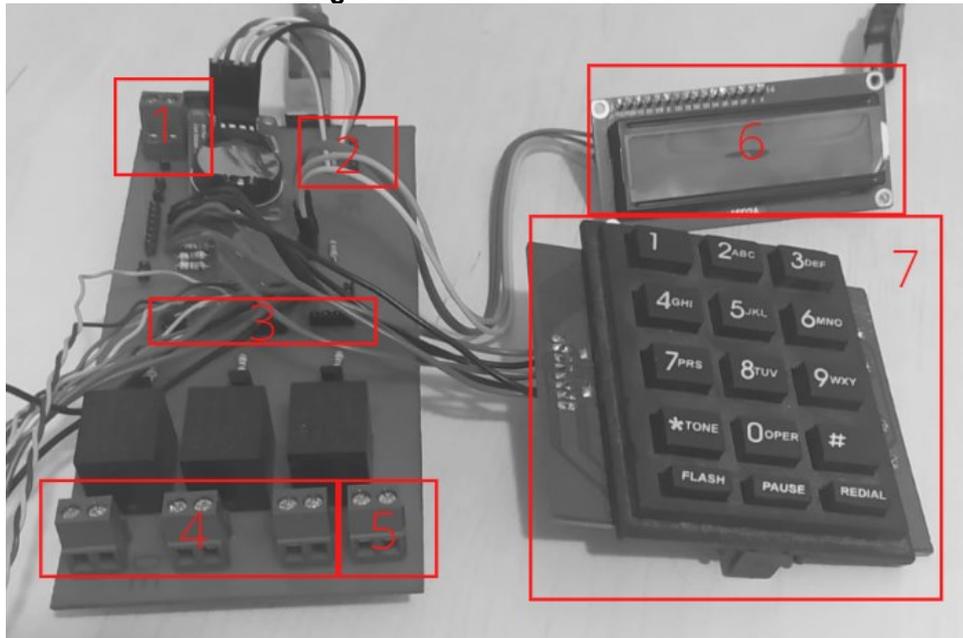


Fonte – Autoria Própria (2022).

A Figura 23 apresenta a vista superior da PCI e os periféricos já ligados, a região demarcada com o número 1 é a alimentação de 12 V, responsável por alimentar a placa de desenvolvimento e a maior parte dos periféricos, e o 5 é a alimentação das bombas, que são isoladas do circuito com o auxílio do relé.

O número 2 é o local em que o RTC está alocado, 3 são os três sensores HR-SR04, 4 é o local em que são conectadas as bombas, 6 é o visor LDC e 7 o teclado matricial.

Figura 23 - Módulo montado.



Fonte – Aatoria Própria (2022).

Com o auxílio de uma fonte de alimentação 12 V e 5 V, todas as funções do protótipo foram testadas. As funções testadas foram: Configurar aplicação, aplicação imediata, configurar hora e configurar data.

O sistema apresenta 8 telas padrões, conforme apresenta a Figura 24, que são apresentadas até que uma função seja chamada ou alguma aplicação ocorra. As telas a, b e c, apresentam o dia, o mês, as horas e os minutos na primeira linha do visor e na segunda linha é apresentado o volume atual dos reservatórios.

As telas e, f e g apresentam da mesma forma a data e hora na primeira linha, e na segunda linha do visor elas apresentam a próxima aplicação de cada substância.

As telas d e h, indicam as funções e configurações disponíveis no dispositivo, apertando a tecla 1, abre-se a opção de configuração de aplicação, apertando a tecla 2, abre-se a configuração de aplicação imediata, as teclas 3 e 4 servem para configurar hora e data, respectivamente.

Figura 24 - Telas de exibição.



Fonte – Autoria Própria (2022).

Ao pressionar qualquer das teclas de funções, o visor mostra qual função foi chamada e pede as informações necessárias, caso as informações estejam dentro do padrão, as informações são gravadas ou alteradas.

Quando qualquer bomba é ativada, seja por uma aplicação programada ou por uma aplicação imediata, o Arduino aciona o relé, que faz o acionamento da bomba. Como a bomba está sendo acionada por relé, ela pode ser tanto de corrente contínua, quanto de corrente alternada, respeitando apenas as especificações do relé, ou seja, é possível fazer adaptações para usar outras bombas ou até mesmo válvulas solenoides, mesmo que não estejam especificados nesse projeto.

Ao ser acionado, o atuador bombeia a substância do fundo do reservatório para o tanque principal, que está em um nível elevado em relação ao reservatório.

A vazão média especificada da bomba é de 20,8 ml/s e de modo a fazer o teste empírico dessa vazão a bomba foi acionada em três tempos diferentes por 10 vezes e coletada as amostras necessárias para fazer o cálculo, e posteriormente, o reservatório foi alimentado com uma coluna de 25cm uteis de água, cerca de 4,4 L e a bomba ligada até o reservatório chegar no seu limite.

Os resultados do teste, de acordo com a Tabela 1, são coerentes com a vazão especificada pela fábrica, de 20,8 ml/s. Foi observado empiricamente que a variável que tem grande interferência e que causa um desvio padrão de até 6% nas amostras coletadas, é a altura da coluna de água, sendo que, quanto menos água o reservatório

conter, menor será a vazão. No teste do reservatório sendo esvaziado trabalhando em sua capacidade máxima, a bomba foi capaz de mover 4417 ml de água em 3 minutos e 40 segundos, o que dá uma vazão média de 20,07 ml/s.

Tabela 1 - Aferição da vazão da bomba.

	10 s	20 s	30 s
Média	216 ml	417,3 ml	602,1 ml
Vazão Média	21,6 ml/s	20,86 ml/s	20,07 ml/s
Desvio padrão	3,94 ml	17,35 ml	34,48 ml

Fonte – Autoria própria (2022).

O sensor HR-SR04 foi testado na bancada e dentro do reservatório com a finalidade de medir o nível da água. Para cada medição foram coletadas 92 amostras e a partir delas montada a Tabela 2 que mostra o resultado dos testes, os erros médios e os desvios padrões para cada distância verificada. A partir desses dados foi confirmado que o sensor não realiza medições na faixa de 0 à 3 cm, o que já se era esperado pelas configurações de fábrica, a partir de 3 cm o sensor começa a apresentar medidas plausíveis no teste de bancada, porém com erro médio superior a 13% enquanto no reservatório as amostras coletadas apresentavam erro médio superior a 35%.

Medidas superiores à 3 cm no teste de bancada, apresentaram erro inferior a 6%, enquanto as amostras coletadas no reservatório, com exceção das amostras coletadas com 15 cm, apresentam erros superiores a 29%, porém essas mesmas amostras têm um desvio padrão menor que 0,6 cm, dessa forma, existe alguma condição do reservatório que causa esse erro.

A hipótese levantada para explicar o erro foi que o grau de abertura do sensor estava influenciando os resultados devido as paredes do reservatório serem próximas, dessa forma a solução encontrada foi o uso de um colimador, Figura 25, que diminui o ângulo de incidência do sensor e dessa forma, diminuindo consideravelmente o erro das amostras coletadas no reservatório, como pode ser visto na Tabela 3.

Figura 25 - Sensor HC-SR04 com colimador.



Fonte – Autoria própria (2022).

Tabela 2 - Dados estatísticos HR-SR04 sem colimador.

AMOSTRAS SEM COLIMADOR					
	1 cm	3 cm	5 cm	15 cm	25 cm
Média Solido	8,03	3,40	5,29	15,46	25,56
Média Garrafa	6,69	4,06	3,12	14,78	17,66
Erro Médio Sólido	703,33%	13,33%	5,78%	3,04%	2,22%
Erro Médio Garrafa	568,89%	35,19%	37,56%	1,48%	29,38%
Desvio Padrao Solido	0,38	0,49	0,46	0,50	0,50
Desvio Padrao Garrafa	0,59	0,55	0,39	0,42	0,48

Fonte – Autoria própria (2022).

Tabela 3 - Dados estatísticos HR-SR04 com colimador.

AMOSTRAS COM COLIMADOR					
	1 cm	3 cm	5 cm	15 cm	25 cm
Média Solido	15,21	4,26	5,36	15,41	25,28
Média Garrafa	3,66	5,43	5,31	14,99	20,87
Erro Médio Sólido	1421,11%	41,85%	7,11%	2,74%	1,20%
Erro Médio Garrafa	265,56%	81,11%	6,22%	0,22%	18,31%
Desvio Padrao Solido	9,36	0,44	0,48	0,49	0,47
Desvio Padrao Garrafa	0,48	0,50	0,47	0,18	3,00

Fonte – Autoria própria (2022).

5 CONCLUSÃO

Este projeto apresentou a proposta de construir um protótipo baseado no microcontrolador ATmega2560 em que o principal objetivo foi realizar a reposição de nutriente e ajuste de pH em um sistema de hidroponia.

Os objetivos traçados para o projeto foram todos atendidos, visto que foi construído um protótipo funcional, no qual era possível realizar o agendamento e configurações de aplicação, controlar o volume de substâncias direcionadas ao tanque principal e medir o volume dos reservatórios.

A aferição do volume dos reservatórios apresentou um erro significativo e mensurado, que poderia causar interferência no correto funcionamento do protótipo. Esse erro foi mitigado com o uso de um colimador nos sensores HR-SR04, o que causou uma diferença significativa nas aferições.

A interface entre o sistema microcontrolado e a reposição de nutrientes hidropônicos foi assertiva, de modo que torna capaz a periodização da realimentação de nutrientes e ajuste de pH no tanque principal.

O usuário é capaz de programar o dia, mês, horas e minutos do sistema, bem como programar a periodicidade das aplicações de cada substância individualmente, tudo isso através de um teclado matricial e um visor LCD para mostrar os dados.

Sendo assim, foi possível realizar a automação de um dos processos que envolvem a hidroponia, tendo em vista que a assertividade da realimentação da solução nutritiva é de suma importância para o resultado final da produção, esse projeto cumpriu o seu objetivo, desenvolvendo um sistema capaz de realizar a reposição de nutrientes e ajuste de pH em horários e dias pré-determinados.

Como um projeto futuro, poderia ser feito um controle de malha fechada do sistema repositivo, acrescentando sensores de condutividade no tanque principal, e medidores de pH, tornando assim o processo totalmente automatizado.

REFERÊNCIAS

- ARDUINO. “**Whats is Arduino?**”, o que é arduino?. Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>. Acesso em: 21 mar. 2022.
- ATMEL. **Atmel ATmega640/V-1280/V-1281/V-2560/V-2561/V**, [S. I.], 2014. Disponível em: https://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/atmel-2549-8-bit-avr-microcontroller-atmega640-1280-1281-2560-2561_datasheet.pdf. Acesso em: 30 abr. 2022.
- CARLET, M. A. **Automação de horta hidropônica utilizando microcontrolador arduino**. 2020. Dissertação (Mestre em Tecnologias Computacionais para o Agronegócio) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2020.
- CARRIJO, O. A.; MAKISHIMA, N. **Princípios de hidroponia**. Embrapa Hortaliças-Circular Técnica (INFOTECA-E), 2000.
- CENSUS, E.U.A. **U.S. and world population clock**. Disponível em: <https://www.census.gov/popclock/world>. Acesso em: 12 abr. 2022.
- DOUGLAS, J, S. **Hidroponia: cultura sem terra**. [S. I.]: NBL Editora, 2001. ISBN 8521304684, 9788521304685. Disponível em: https://books.google.com.br/books/about/Hidroponia_cultura_sem_terra.html?id=fOuSc63Rw88C&redir_esc=y. Acesso em: 2 maio 2022.
- ELECFREAKS. **Ultrasonic ranging module hc - sr04**, [S. I.], 2013. Disponível em: <https://www.electroschematics.com/wp-content/uploads/2013/07/HCSR04-datasheet-version-1.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2022.
- ELETROGATE. **Mini bomba submersível p/ água**. 2022. Disponível em: https://www.eletrogate.com/mini-bomba-submersa-5v-p-agua?utm_source=Site&utm_medium=GoogleMerchant&utm_campaign=GoogleMerchant&gclid=CjwKCAjwgr6TBhAGEiwA3aVuIRVffObGljJ3h7PphYryef3EyeahNTAQeO4gjXFjXKJQYqnN4vJWHRoCO9MQAvD_BwE. Acesso em: 2 maio 2022.
- ERIDANI, D.; WARDHANI, O; WIDIANTO, E. D. *In*: 4TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION TECHNOLOGY, COMPUTER, AND ELECTRICAL ENGINEERING (ICITACEE). Designing and implementing the arduino-based nutrition feeding automation system of a prototype scaled nutrient film technique (NFT) hydroponics using total dissolved solids (TDS) sensor. **Anais [...]**. 2017. 6p.
- EVANS, M; NOBLE, J; HOCHENBAUM, J. **Arduino em ação**. Novatec Editora, 2013.
- FURLANI, P. R. *et al*. **Cultivo hidropônico de plantas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1999. Disponível em: http://www.infobibos.com/Artigos/2009_2/Hidroponiap3/Index.htm. Acesso em: 2 maio 2022.

FURLANI, P.; COMETTI, N. N. **Segurança alimentar e produtos hidropônicos**. ResearchGate, [S. l.], p. 1-12, 20 ago. 2014. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/242172543>. Acesso em: 20 abr. 2022.

FURTADO, L. F. **Vazões de aplicação de Solução Nutritiva, teor de nitrato em alface sob cultivo hidropônico e aceitabilidade sensorial**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola) Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel. Centro de ciências Exatas e Tecnológicas, 2008.

GAY, W. I2c. *In*: Beginning STM32. **Apress, Berkeley**, CA, 2018. p. 195-221.

GIMENEZ, S. P. **Microcontroladores 8051 - conceitos, operação, fluxogramas e programação**. Editora Saraiva, 2015. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536519906/>. Acesso em: 02 maio 2022.

MANKAR, J. *et al.* Review of i2c protocol. **International Journal of Research in Advent Technology**. p. 1-6, 2014. Disponível em: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.429.1402&rep=rep1&type=pdf>. Acesso em: 2 maio 2022.

MAXIM INTEGRATED. **DS1302 trickle charge timekeeping chip**, [S. l.], 2015. Disponível em: https://components101.com/sites/default/files/component_datasheet/DS1302-Trickle-Charge-Timekeeping-Chip%20.pdf. Acesso em: 30 abr. 2022.

MAZIDI, M. A.; MCKINLAY, R. D.; CAUSEY, D. **PIC microcontroller and embedded systems: using assembly and c for pic18**. [S. l.]: Pearson Education, 2008. 822 p. ISBN 0136009026. Disponível em: <http://www.staroceans.org/kernel-and-driver/PIC%20Microcontroller%20and%20Embedded%20Systems%20Using%20ASM%20%26%20C%20for%20PIC18.pdf>. Acesso em: 2 maio 2022.

ONU. **The state of food security and nutrition in the world 2021**. Disponível em: <https://www.fao.org/3/cb4474en/online/cb4474en.html#>. Acesso em: 12 abr. 2022.

PALANDE, V.; ZAHEER, A.; GEORGE, K. Fully Automated Hydroponic System for indoor plant growth. International conference on identification, information and knowledge in the internet of things. **Procedia Computer Science**. p. 482-488, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050918302473>. Acesso em: 2 maio 2022.

SHENZHEN EONE ELECTRONICS CO. , LTD. **Specification for LCD module 1602A-1**, [S. l.], v 1.2. Disponível em: <https://www.openhacks.com/uploadsproductos/eone-1602a1.pdf>. Acesso em: 1 maio 2022.

SILVA, A. P. P; MELO, B. HIDROPONIA. **Núcleo de estudo em fruticultura no cerrado**, [s. l.], 2003. Disponível em: <http://www.fruticultura.iciag.ufu.br/hidropo.htm>. Acesso em: 9 mar. 2022.

SILVA, M. G. *et al.* Monitoramento de elementos meteorológicos e temperatura da solução nutritiva hidropônica em ambiente protegido com uso do arduino. *In: IV Inovagri International Meeting XXVI CONIRD : Congresso nacional de irrigação e drenagem III SBS - Simposio Brasileiro de salinidade.* 2017, Roncavo. **Anais [...]**. p.11. Acesso em: 9 mar. 2022.

TEXAS INSTRUMENTS. **PCF8574 remote 8-bit i/o expander for I2C bus**, [S. l.], 2015. Disponível em: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/pcf8574.pdf>. Acesso em: 1 maio 2022.