

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA

MATHEUS QUEIROZ COSTA

Desenvolvimento de Dispositivo Portátil e Wireless para Análise Colorimétrica RGB de
Concentração Substâncias.

Uberlândia

2024

MATHEUS QUEIROZ COSTA

Desenvolvimento de Dispositivo Portátil e Wireless para Análise Colorimétrica RGB de
Concentração Substâncias.

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação,
apresentado à Faculdade de Engenharia da
Universidade Federal de Uberlândia como
requisito parcial para obtenção do título de
Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Augusto Wohlgemuth
Fleury Veloso da Silveira

Uberlândia

2024

MATHEUS QUEIROZ COSTA

Desenvolvimento de Dispositivo Portátil e Wireless para Análise Colorimétrica RGB de
Concentração Substâncias.

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação,
apresentado à Faculdade de Engenharia da
Universidade Federal de Uberlândia como
requisito parcial para obtenção do título de
Engenheiro Eletricista.

Uberlândia, 15 de julho de 2024.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Carlos Eduardo Tavares

Prof. Dr. Luciano Coutinho Gomes

Prof. Dr. Augusto Wohlgemuth Fleury Veloso da Silveira (Orientador)

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais e amigos que acompanharam nesta trajetória, se alegrando comigo nas vitórias, para que além de um estudante eu me tornasse uma pessoa melhor.

Agradeço aos professores membros da banca pelo auxílio disponibilizado, em especial ao professor Augusto por aceitar o desafio.

RESUMO

O emprego de microcontroladores se tornou cada vez mais comum em química analítica, devido a seu baixo custo, portabilidade, possibilidade de integração, aquisição de dados e controle dispositivos em único sistema. Um dos grandes desafios é a construção de um dispositivo inteligente que possa ser controlado de maneira remota, permitindo a automação parcial ou total das análises químicas. Para análise ambiental os métodos convencionais demandam bastante tempo, devido a necessidade da utilização de equipamentos laboratoriais, com isso o custo de tais análises se torna elevado. O uso de equipamentos compactos e portáteis diminuem os transtornos no deslocamento e permitem, assim, que seja feita análises in situ, tornando as possibilidades de erro e contaminação nas etapas de amostragem, armazenamento e transporte das amostras mínimas, gerando resultados de forma rápida. A utilização de métodos colorimétricos é uma estratégia ideal, devido a variedade de procedimentos que podem ser adotados. Este projeto é baseado do desenvolvimento de um dispositivo wireless portátil para medidas do valor de RGB como alternativa para o uso de microcontroladores que não possuem conexão, a fim de melhorar a portabilidade do dispositivo e permitir a automação. Pretende-se utilizar um sensor de cor RGB (TCS34725 e APDS9960) conectado diretamente em um módulo ESP32, que possui conexões Wi-Fi e Bluetooth, um display OLED e uma bateria de íon-lítio recarregável embutida. Com a construção deste dispositivo é possível obter um equipamento miniaturizado, de baixo custo e com a possibilidade de ser controlado remotamente, através de uma central de análise, como um smartphone, conferindo maior portabilidade e facilidade de controle do dispositivo.

Palavras-chave: Internet das coisas, ESP-32, Química analítica Instrumental

ABSTRACT

The use of microcontrollers has become increasingly common in analytical chemistry, due to their low cost, portability and the possibility of integrating and acquiring data and controlling devices in a single system, one of the great challenges is the construction of an intelligent device that can be controlled remotely, allowing the partial or total automation of chemical analyses. For environmental analysis, conventional methods require a lot of time, due to the need to use laboratory equipment, so the cost of such analyses becomes high. The use of compact and portable equipment reduces disturbances in displacement and thus allows for in situ analyses. The possibilities of error and contamination in the stages of sampling, storage and transport of samples are minimized, generating results quickly. The use of colorimetric methods is an ideal strategy, due to the variety of procedures that can be adopted. This project is based on the development of a portable wireless device for RGB value measurements as an alternative to the use of microcontrollers that do not have a connection, in order to improve the portability of the device and allow automation. It is intended to use an RGB color sensor (TCS34725 and APDS9960) connected directly to an ESP32 module, which has Wi-Fi and Bluetooth connections, an OLED display and a built-in rechargeable lithium-ion battery. With the construction of this device, it is possible to obtain miniaturized equipment, at a low cost and with the possibility of being controlled remotely, through an analysis center, such as a smartphone, providing greater portability and ease of control of the device.

Keywords: Internet of things, ESP-32, Instrumental analytical chemistry

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1: MODELO DO FOTOSSENSOR.....	17
FIGURA 2: ESQUEMA DE LIGAÇÕES DO FOTOSSENSOR	17
FIGURA 3: GRÁFICO DE SENSIBILIDADE POR COMPRIMENTO DE ONDA.....	18
FIGURA 4: ESQUEMA DE CONTROLE DO ADC DO SENSOR.....	18
FIGURA 5: EXEMPLO DE LIGAÇÃO I2C	19
FIGURA 6: REPRESENTAÇÃO DO ENVIO DE INFORMAÇÕES ATRAVÉS DO PROTOCOLO I2C	19
FIGURA 7: VISTA FRONTAL E POSTERIOR DO MÓDULO WiFi ESP32 COM DISPLAY OLED E SUPORTE DE BATERIA.	21
FIGURA 8: FOTO DO SENSOR RGB (TCS34725 E APDS9960) EMPREGADO PARA MEDIDAS RGB.	22
FIGURA 9: VISTA DAS LIGAÇÕES ENTRE O ESP32 E OS SENSORES	23
FIGURA 10: VISTA FRONTAL E EM PERSPECTIVA DO SUPORTE DO ESP32	24
FIGURA 11: VISTA FRONTAL E EM PERSPECTIVA DO SUPORTE DO SENSOR ONDE SERÃO ACOMODADOS A CUBETA COM A AMOSTRA	25
FIGURA 12: TELA DA IDE DO ARDUINO	26
FIGURA 13: TELA DA IDE DO ARDUINO, GERENCIADOR DE PLACAS	27
FIGURA 14: TELA DA IDE DO ARDUINO MENU DE PLACAS	27
FIGURA 15: TELA DA IDE DO ARDUINO, MENU DE BIBLIOTECAS	28
FIGURA 16: TELA DA IDE DO ARDUINO, MENU DE GERENCIAMENTO DE BIBLIOTECAS	28
FIGURA 17: REPRESENTAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO, BIBLIOTECAS E CONFIGURAÇÃO I2C	29
FIGURA 18: REPRESENTAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO, DECLARAÇÃO DE VALORES E INICIALIZAÇÃO	30
FIGURA 19: REPRESENTAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO, FUNÇÃO PARA COLETA DE DADOS.....	30
FIGURA 20: REPRESENTAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO, CONFIGURAÇÃO E ESCRITA NO DISPLAY	31
FIGURA 21: REPRESENTAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO, FUNÇÃO PRINCIPAL	31
FIGURA 22: REPRESENTAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO, BIBLIOTECAS WIFI	32
FIGURA 23: REPRESENTAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO, BIBLIOTECAS.....	32
FIGURA 24: REPRESENTAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO, CONFIGURAÇÃO WIFI.....	33
FIGURA 25: REPRESENTAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO, INICIALIZAÇÃO	33
FIGURA 26: REPRESENTAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO, INICIALIZAÇÃO WIFI	34
FIGURA 27: REPRESENTAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO, INICIALIZAÇÃO	34
FIGURA 28: REPRESENTAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO, ESTRUTURA EM HTML	35
FIGURA 29: REPRESENTAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO, ESTRUTURA EM HTML PARA ATUALIZAÇÃO DE STATUS	36
FIGURA 30: FOTO DO DISPOSITIVO EM TESTES	37
FIGURA 31: FOTO DA CASE DO DISPOSITIVO.....	38
FIGURA 32: FOTO DO DISPOSITIVO MONTADO	38
FIGURA 33: FOTO DA CASE PARA ANÁLISES EM CUBETAS	39
FIGURA 34: FOTO DA INTERFACE WEB.....	40

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: COMPARAÇÃO ENTRE AS TECNOLOGIAS WI-FI E BLUETOOTH.....	20
TABELA 2: TABELA DE LIGAÇÕES	23
TABELA 3: TABELA DE VALORES DE CUSTO DO DISPOSITIVO.....	25
TABELA 4 COMPARAÇÃO DO PROCEDIMENTO PROCESSADO EMPREGANDO APDS9960 RGB, TCS34725 RGB SENSORES E UM ESPECTROFOTÔMETRO CONVENCIONAL.	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

UFU	Universidade Federal de Uberlândia
IOT	do inglês, <i>Internet of Things</i> (Internet das coisas)
RGB	do inglês, <i>Red Green Blue</i> (vermelho, verde e azul)
LCD	Do inglês, <i>Liquid cristal display</i> (<i>Display de cristal líquido</i>)
I2C	do inglês, <i>Inter-Integrated Circuit</i> (Circuito inter-integrado)
UART	do inglês, <i>Universal Asynchronous Receiver Transmitter</i> (Transmissor-receptor universal assíncrono)
SPI	do inglês, <i>Serial Peripheral Interface</i> (Interface serial periférica)
WIFI	do inglês, <i>Wireless Fidelity</i> (Fidelidade sem fio)
USB	do inglês, <i>Universal Serial Bus</i> (Porta serial universal)
RAM	do inglês, <i>Random Access Memory</i> (Memória de acesso randômico)
GPIO	do inglês, <i>General Purpose Input/Output</i> (Pinos de entrada e saída de uso geral)
ADC	do inglês, <i>Analog to Digital Converter</i> (Conversor analógico digital)
DAC	do inglês, <i>digital to Analog Converter</i> (Conversor digital analógico)
RTC	do inglês, Real time Clock (Relógio de tempo real)
SDA	do inglês, <i>Serial Data</i>
SCL	do inglês, <i>Serial Clock</i>
LED	do inglês, <i>Light Emiting Diode</i> (Diodo emissor de luz)
IR	do inglês, <i>Infra-Red</i> (Infravermelho)
HTML	do inglês, <i>Hyper Text Markup Language</i> (Linguagem de marcação de hipertexto)
R/W	do inglês, Read/Wride (leitura e escrita)
NACK/ACK	do inglês, no Acknowledg/Acknowledge (Não reconhecer/ reconhecer)
AP	do inglês, AccessPoint (Ponto de acesso)
STA	do inglês, Station (Estação)
PPA	Poliftalamida
ABS	Acrilonitrila butadieno estireno

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. Objetivo	13
1.2. Justificativas	13
2. REFERENCIAL TEÓRICO	15
3. METODOLOGIA.....	21
3.1. Construção do dispositivo	21
3.2. Programação	26
3.3. Código	28
3.4. Validação do dispositivo.....	36
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	37
4.1. Avaliação da qualidade do sensor.....	37
4.2. Construção da case	37
4.3. Construção da interface web.....	39
4.4. Análise na determinação de nitrito em água.....	40
5. CONCLUSÃO	42
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	43

1. INTRODUÇÃO

Considerando a relevância dos problemas analíticos pode-se destacar a interdisciplinaridade de diferentes projetos, o qual envolvem assuntos tais como: química, programação e IoT, temas que são abordados em diversas disciplinas.

O desenvolvimento de uma abordagem sustentável, portátil e econômica, para a monitorização química no ambiente natural das águas é altamente importante, uma vez que pode indicar, em tempo real, a qualidade da água para a saúde do ecossistema.

Hoje em dia, os dispositivos analíticos responsáveis por realizar estas medidas são caros e complexos, além disso, existe a dificuldade de transporte das amostras a serem analisadas até os laboratórios, visto que o transporte deste material pode gerar problemas de contaminação e variações de temperatura, prejudiciais para uma análise precisa.

O método de análise baseado em colorimetria, apresenta bastante aplicabilidade, devido a sua precisão e simplicidade. As reações cromogêneas têm objetivo de identificar o analito visualmente, podendo trabalhar com respostas quantitativas por relações matemáticas da intensidade da cor do analito (CAPITÁN-VALLVEY et al, 2015).

Para este método de análise, a luz refletida pode ser captada por um conjunto de filtros RGB, utilizadas na maioria dos dispositivos de captura de imagens e transformada em sinais decimais de 8 bits, entre 0 e 255, e utilizadas para construir uma cor no meio digital. Desta forma é possível correlacionar a concentração de espécies coloridas com os valores RGB, que em certas condições respondem linearmente a concentração do analito. (YUSUFU; MILLS, 2018).

Atualmente existem diversos projetos que abordam o uso de microcontroladores, como Arduino, RaspberryPI que agregam inovações inerentes a aquisição de dados e controle de análises químicas, empregando determinação por imagens em μ PADs e cubetas, melhorando consideravelmente a portabilidade do método (GIANNETTO et al., 2018; CAPELLA et al., 2019; MAYER, BAEUMNER et al., 2019).

Em Grazioli et al. (2020), foram desenvolvidos equipamentos de projeto simples utilizando impressoras 3D, placas de Arduino, LED e fotossensores para analisar a capacidade antioxidante de infusões de chá. Os resultados obtidos puderam ser comparados com pesquisas utilizando espectrofotômetro e mostraram medições e resultados precisos.

Em Jesus, Diogo Morais de et al (2024) foram apresentados resultados semelhantes em determinações ambientais utilizando fotossensores Os resultados obtidos puderam ser

comparados com pesquisas utilizando espectrofotômetro e mostraram medições e resultados precisos

Em Cadeado et al. (2022b), foi desenvolvido um dispositivo baseado no método de Griess para a determinação colorimétrica de nitrito em água. Utilizando um sensor de cor RGB APDS 9960 para detectar a intensidade da cor produzida pela reação entre o nitrito e o reagente de Griess, o autor obteve resultados satisfatórios, comparáveis aos valores obtidos por UV-vis, e analisou informações como o desvio padrão relativo em comparação com outros trabalhos da literatura.

Portanto o uso de plataformas IoT é pouco explorado e pode ser uma ferramenta para o crescimento do uso destes dispositivos, melhorando significativamente a versatilidade. As plataformas IoT podem se comunicar diretamente com nossos smartphones e redes de computadores, transmitindo dados de forma automática e facilitando o uso do profissional responsável. Os dispositivos portáteis baseados no conceito de Internet das Coisas estão a se tornar uma preocupação considerável para muitos países em todo o mundo, contribuindo para o avanço da análise in situ.

1.1. Objetivo

O objetivo deste projeto é a construção de um dispositivo IoT empregando um sensor RGB validado por pesquisas, com relação a sua precisão comparado a técnicas convencionais de análise, como alternativa para os dispositivos de análises colorimétricas in loco. Visando assim à melhoria do processo e permitindo a implementação de tecnologias atuais de recebimento e envio de dados.

São objetivos específicos deste projeto:

- a) Construir um dispositivo compacto de baixo custo.
- b) Avaliar e desenvolver estratégias para envio e recebimento remoto de dados para este dispositivo.

1.2. Justificativas

A portabilidade conferida pelo uso deste dispositivo é um atrativo para análises in situ, entre elas para controle ambiental. Em termos de custo, devido ao alto valor dos dispositivos que atualmente são utilizados para tais análises, construir um equipamento de baixo custo de manutenção e aquisição, sem comprometer a aplicabilidade da técnica, é relevante. Equipamentos compactos e portáteis diminuem os transtornos no deslocamento dos mesmos e permitem, assim, que seja feita análises in situ. A análise

feita in situ diminui a possibilidade de erro e contaminação nas etapas de amostragem, armazenamento e transporte das amostras, melhorando a precisão das medidas.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Internet das coisas é o conceito de um ecossistema tecnológico em que os objetos estão interconectados. A IoT permite a possibilidade de conexão e troca de informações a modo de proporcionar monitoramento rastreamento e envio de dados. No meio acadêmico as publicações envolvendo IoT vem crescendo nos últimos anos, sendo assim se torna pertinente o uso desta tecnologia aplicada em química analítica para o uso industrial e doméstico de análises químicas.

A demanda por procedimentos rápidos e automatizados para monitoramento de parâmetros ambientais, incluindo análises de águas, cresce consideravelmente, pela necessidade dos órgãos ambientais regulamentadores e de indústrias em monitorar frequentemente diversos parâmetros químicos (DUFFY; REGAN, 2017).

Os métodos convencionais de análise de água são variados, englobando análises patológicas e químicas. Para as análises patológicas, ensaios de cultura são amplamente utilizados para controlar microrganismos presentes. Já nas análises químicas, o objetivo é determinar a concentração de compostos químicos, como no controle industrial em uma estação de tratamento de água, onde é necessário realizar a análise diária de cloro e flúor adicionados à água para o consumo humano.

Dentro da química analítica as amostras de água são coletadas e levadas aos laboratórios, onde são adicionados reagentes a fim de isolar as substâncias. Em seguida estas amostras são inseridas em aparelhos que podem medir PH, turbidez e concentrações. O exemplo mais comum de equipamento é o Fotômetro, responsável por dar uma resposta colorimétrica da amostra, e com esta resposta o profissional consegue medir diversas informações, a depender do método de reações utilizadas.

Para ambas as análises, o custo operacional é elevado. Os laboratórios precisam de grandes estruturas, altos investimentos em equipamentos de última geração e profissionais altamente qualificados para operá-los. Outro fator a ser considerado é o transporte das amostras, que pode resultar em contaminação e perda de propriedades devido à variação de temperatura. Por isso, a instrumentação analítica baseada em dispositivos portáteis é altamente valorizada pela sociedade.

Exemplos desta instrumentação, incluem a construção de um fotômetro. Estes microcontroladores têm sido usados para acoplar sensores apresentando os resultados em tempo real (GRINIAS et al., 2016). Este sistema de detecção fotométricas, o detector realiza a medida da luz transmitida pela superfície, e pode ser controlado por diversos módulos microcontrolados como por exemplo Arduino, ESP32 e Raspberry PI.

Estes módulos possuem diversas peculiaridades importantes para o desenvolvimento de diversos projetos. Como os objetivos do trabalho é a construção de um dispositivo de menor porte e tecnologias integradas como WI-FI a escolha se resume ao ESP32 e ESP8266, ambos de desenvolvimento da empresa ESPRESSIF SYTEMS. No qual ambos possuem diversas ferramentas de fácil acesso quanto para conexão de outros dispositivos quanto para programação baseada na interface IDE do Arduino que é bastante difundida no mercado e possui uma curva de aprendizagem baixa. (GIANNETTO, M. et al.,2018)

Os módulos ESP32 e ESP8266 possuem baixo custo e é bastante eficiente, é reconhecido por sua versatilidade por uma ampla gama de conexões, como protocolos I2C, UART, SPI, WIFI e Bluetooth. Possui um processador de 240MHz, 520Kb de memória RAM e 4MB de memória flash, além disso o involucro conta com 30 GPIO programáveis ,12 ADC, 2 DAC e 2 RTC. Possibilitando uma fácil integração com diversos dispositivos periféricos como sensores botões motores e potenciômetros.

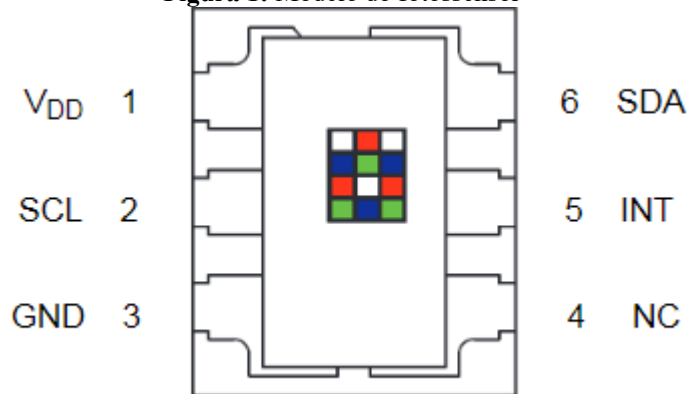
Para análise colorimétrica, as reações químicas ocorrem dentro recipientes e, com isso, a identificação do analito pode ser feita visualmente. Desta identificação, pode-se trabalhar com respostas de confirmação em escala quantitativa por relações matemáticas da intensidade de cor do analito.

Os dispositivos usualmente empregados, capturam a luz refletida com detectores fotossensíveis. Estes sinais são constituídos por valores em escala quantitativa (YUSUFU; MILLS, 2018).

Existem diversos sensores no mercado que utilizam do método de detecção para realizar a medida da luz transmitida, através de fotodiodos presente compreendendo matrizes e filtros para vermelho, verde e azul e conhecido como filtro de Bayer (GONZALES; WOODS, 2010).

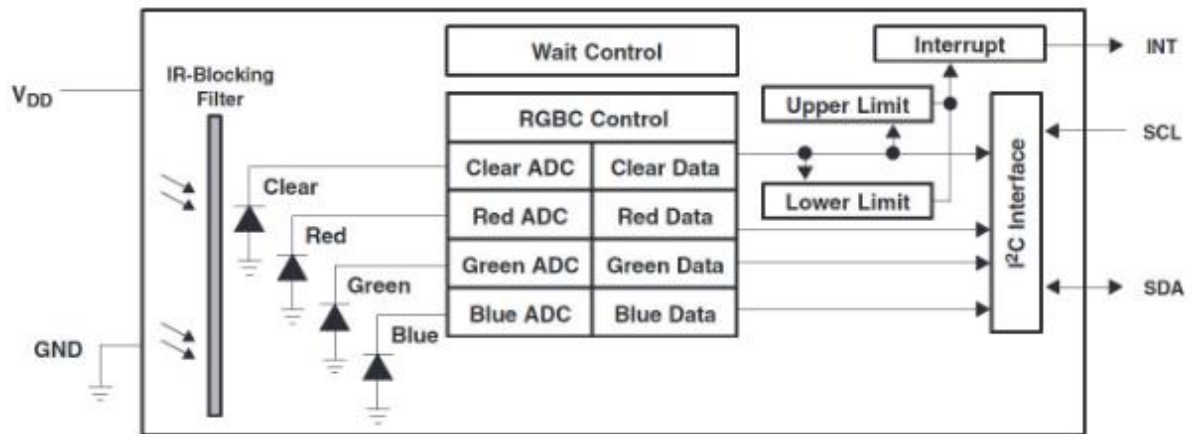
Os sensores RGB utilizam deste método para captar a intensidade luminosa e transforma-la em um sinal elétrico de tensão. Este sensor geralmente está acoplado atrás de um filtro de infravermelho e a um conversor analógico digital responsável por transformar esta variação de intensidade em um sinal digital de 0 a 255 ou seja 8 bits de acordo com as figuras 1 e 2 .

Figura 1: Modelo do fotossensor



Fonte: Adaptado de ASM AG. (2022)

Figura 2:Esquema de ligações do fotossensor

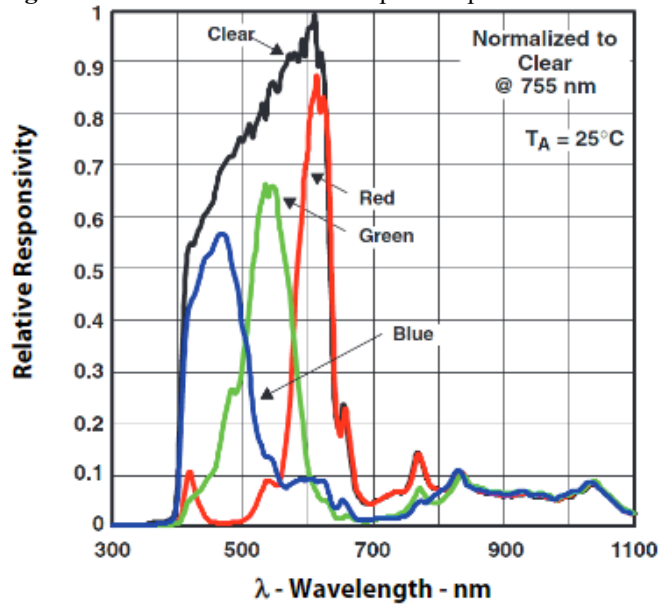


Fonte: Adaptado de ASM AG. (2022)

Como abordado em diversas literaturas, a intensidade da cor pode ser proporcional à concentração de uma espécie química, a quantificação dessa espécie pode ser realizada a partir da correlação dos valores das componentes do sistema RGB associada com essa espécie e sua concentração. Pode-se considerar uma analogia a medidas espectrofotométricas, mas dispensando-se todo aparato instrumental usualmente empregado. (CAPITÁN-VALLVEY et al., 2015; YUSUFU; MILLS, 2018; BEYAZ, A. et al.,2017).

Por exemplo, na figura 3, ao incidir um uma fonte de luz ,com um certo comprimento de onda, podemos decompor em sinais decimais RGB, considerando a resposta relativa do sensor entre o comprimento de onda e a sensibilidade dos filtros Vermelho, Verde e Azul.(ASM AG et al. ,2022)

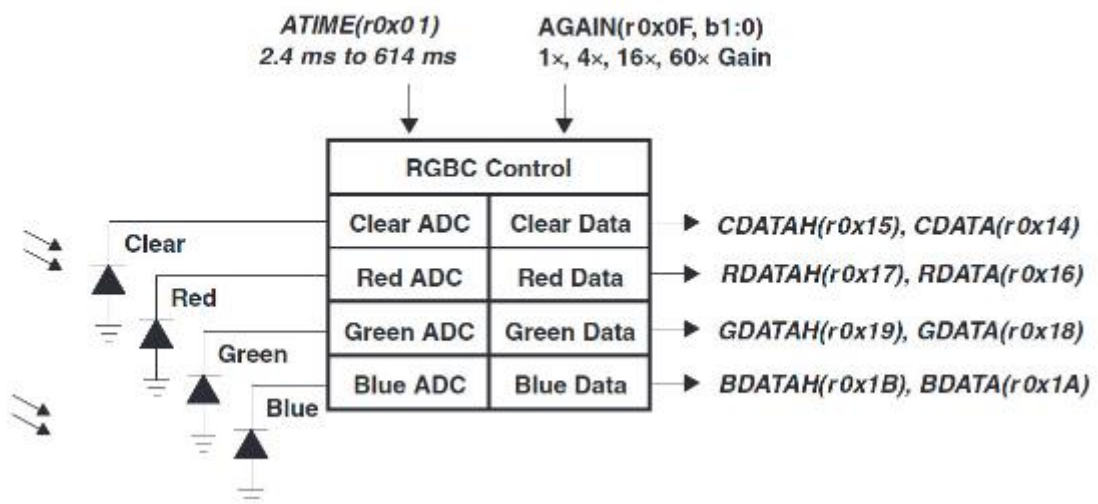
Figura 3: Gráfico de sensibilidade por comprimento de onda



Fonte: Adaptado de ASM AG. (2022)

Outra vantagem da utilização deste tipo de sensor é sua calibração podendo ser setada em diferentes tempos de resposta e diferentes ganhos no controle interno do sensor, evidenciado na figura 4. Esta vantagem é essencial para o método de Griees, que utiliza uma amostra de água destilada para sua calibração.(SPARKFUN et al 2023)

Figura 4: Esquema de controle do ADC do sensor

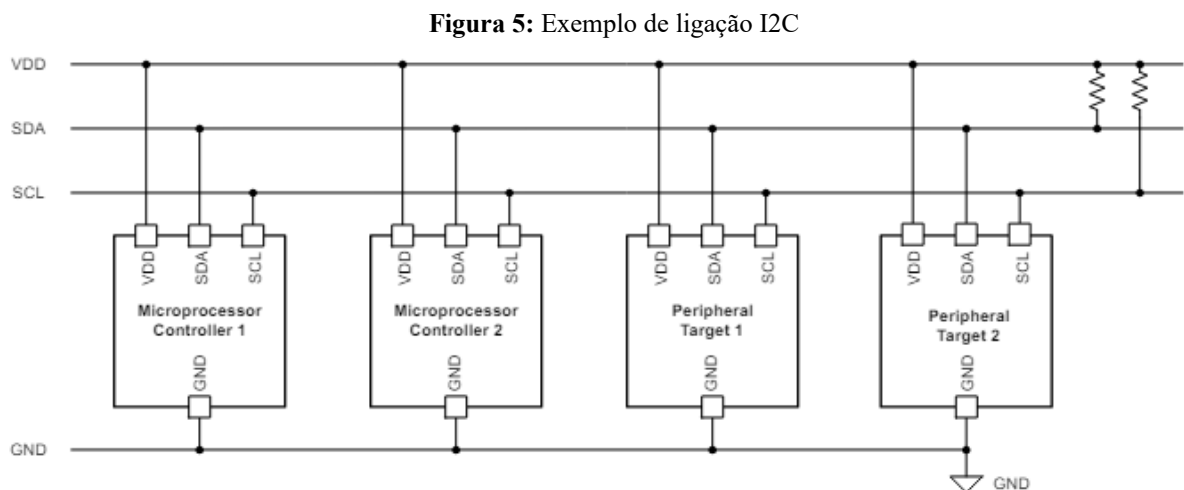


Fonte: Adaptado de ASM AG. (2022)

Portanto, para integração deste sistema de análises entre microcontroladores, sensores e internet pode-se realizar a utilização de protocolos de comunicação (físicos ou remotos). A exemplo de utilização no meio físico o protocolo I2C possibilita a comunicação entre

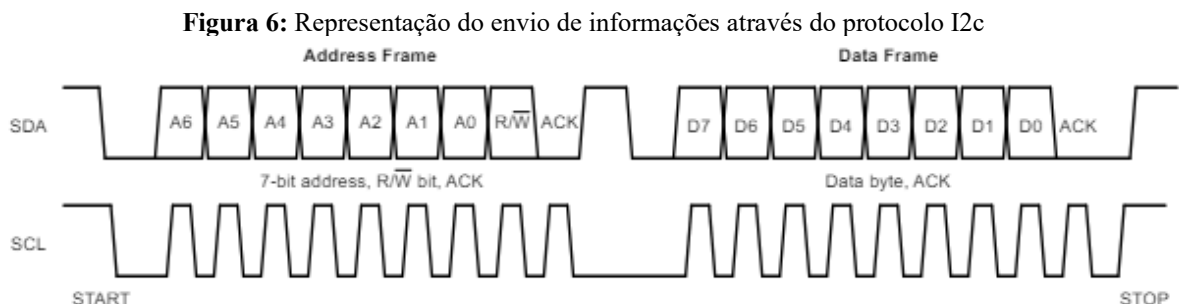
microcontroladores e diferentes dispositivos periféricos através de um protocolo digital. O I2C é um protocolo de comunicação comum usado em uma variedade de dispositivos de diversas famílias de produtos. Baseado em uma comunicação serial de dois fios que usa uma linha de dados serial (SDA) e uma linha de Clock serial (SCL). O protocolo suporta vários dispositivos alvo em um barramento de comunicação e pode suportar vários controladores que enviar e receber comandos e dados. A comunicação é enviada em pacotes de bytes com um endereço único para cada dispositivo de destino. (ALVES, L. et al. ,2019)

A **Figura 5** apresenta um esquema elétrico de 2 microcontroladores e 2 periféricos conectados em um barramento I2C, simbolizados por uma ligação a 2 fios.



Fonte: Adaptado de INSTRUMENTS et al. (2022)

A **Figura 6** apresenta uma representação de dados enviados através do barramento SDA e SCL, onde o nível de tensão no barramento SDA durante os pulsos de clock determina os bits.



Fonte: Adaptado de INSTRUMENTS et al. (2022)

O quadro de endereço é sempre o primeiro em qualquer nova sequência de comunicação. Para um endereço de 7 bits, o endereço recebe o bit mais significativo (MSB)

primeiro, seguido por um bit R/W indicando se esta é uma operação de leitura (1) ou gravação (0). O nono bit do quadro é o bit NACK/ACK. Este é o caso para todos os quadros (dados ou endereço). Depois que os primeiros 8 bits do quadro são enviados, o dispositivo receptor recebe controle sobre o SDA. Se o dispositivo receptor não puxar a linha SDA para baixo antes do nono pulso de Clock, pode-se inferir que o dispositivo receptor não recebeu os dados ou não sabia como analisar a mensagem. (INSTRUMENTS et al., 2022)

Como exemplos de meios remotos o protocolo Wi-Fi surgiu na década de 90, utiliza uma comunicação através de ondas eletromagnéticas e suas vantagens são desde o acesso à Internet (meio já consolidado) como o envio grande quantidade de dados a diversos dispositivos.

No protocolo Bluetooth a comunicação também é feita através de ondas eletromagnéticas portanto possui um baixo consumo energético e baixo alcance, com o intuito de realizar a substituição de cabos para dispositivos. Essas tecnologias diferem-se quanto à finalidade, alcance, velocidade de transmissão de dados e consumo de energia (Tabela 1).

Tabela 1: Comparação entre as tecnologias Wi-Fi e Bluetooth

	Wi-Fi	Bluetooth
Finalidade	Conexão de mais de um dispositivo	Conexão entre dispositivos
Alcance	Até 100m	Até 10m
Velocidade de transmissão	6,5Gb/s	3Gb/s
Consumo de energia	Maior	Menor

Fonte: Adaptado de ALVES et al. (2019)

Considerando as tecnologias abordadas, a construção do dispositivo torna se viavel e atende os requisitos de portabilidade e conectividade necessarias para a resolução dos problemas levantados.

3. METODOLOGIA

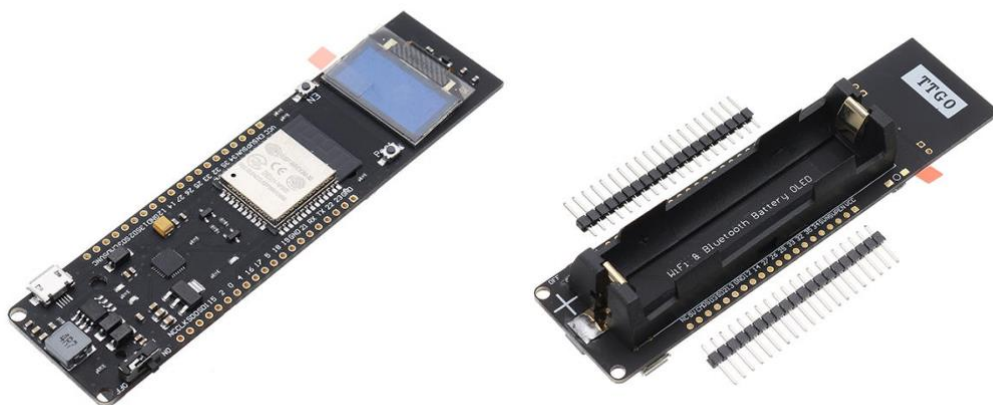
3.1. Construção do dispositivo

Para a medição dos valores de RGB, foi construído um dispositivo no qual uma plataforma de hardware de placa única, conectada via Wi-Fi a um microcomputador ou smartphone, é empregada para controle e aquisição dos dados.

Este módulo possui o módulo ESP32, um display OLED de 0,96 polegadas e um suporte para bateria de Li-íon 18650, em uma única placa. A placa também conta com um carregador para bateria, que pode carregar sem atrapalhar o funcionamento do módulo. Basta alimentar o módulo através da sua entrada micro USB. Um LED indica se a bateria está carregada (verde) ou ainda está carregando (vermelho).

A **Figura 7** apresenta a vista frontal e posterior do Módulo WiFi ESP32 com Display OLED e Suporte de Bateria.

Figura 7: Vista frontal e posterior do Módulo WiFi ESP32 com Display OLED e Suporte de Bateria.



Fonte: Adaptado de Robocore

As medidas serão conduzidas empregando dois sensores (TCS34725 e um APDS9600)

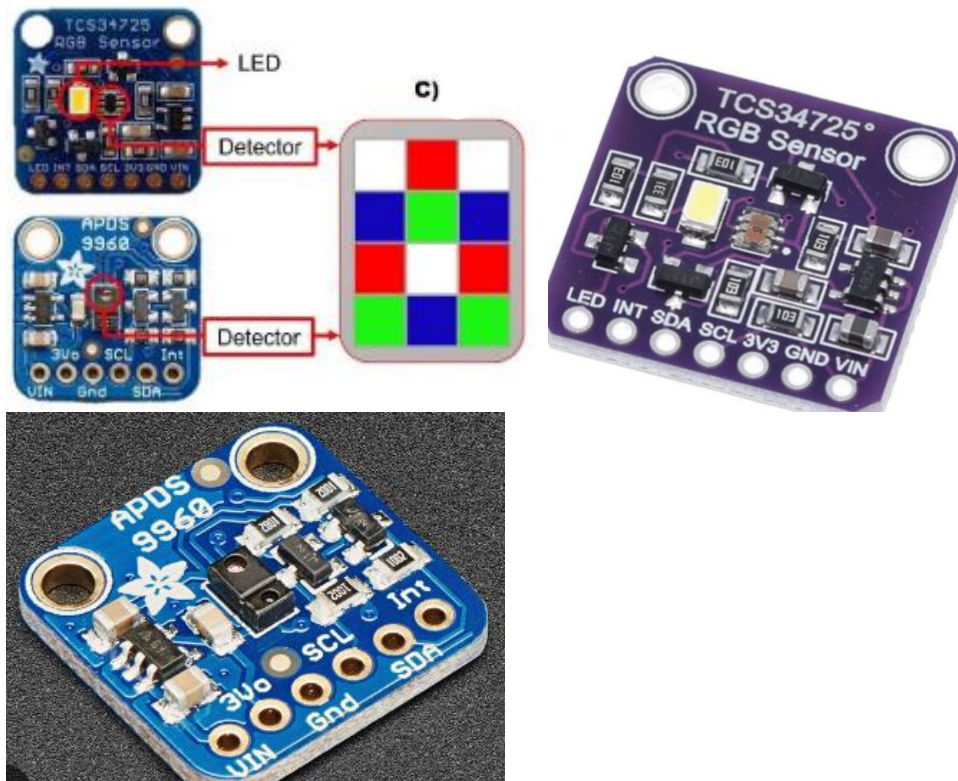
O sensor TCS34725 incorpora um LED branco de alta intensidade luminosa, que ilumina a superfície de interesse, e o detector realiza a medida da luz refletida pela superfície. O sensor APDS9600 necessita de uma luz externa, ideal para medições que há necessidade de medir a intensidade da luz que atravessa a substância.

Ambos possuem um conjunto de fotodiodos presente, que compreendem uma matriz 4×3 , sendo que cada conjunto de 3 diodos apresentam filtros para vermelho, verde e azul. Um terceiro conjunto de 3 diodos recebe a radiação não filtrada. Além disso é incorporado quatro conversores analógico-digital (ADC) integrados que convertem simultaneamente as correntes de fotodiodo amplificado em 10 bits, valor digital.

O LED integrado ao TCS34725, à base de nitreto (InGaN), e tem um ângulo de visão de 120° , com iluminação máxima nas faixas de espectro desejadas (400-700 nm). Um filtro de bloqueio por infravermelho (IR) é integrado aos chips e localizado próximo aos fotodiodos com detecção de cores. O fabricante relata que isso minimiza o componente espectral de infravermelho e permite mais medições precisas de cores.

A **Figura 8** apresenta uma foto do sensor detalhando o posicionamento do LED e do sistema de detecção destes sensores.

Figura 8: Foto do sensor RGB (TCS34725 e APDS9960) empregado para medidas RGB.



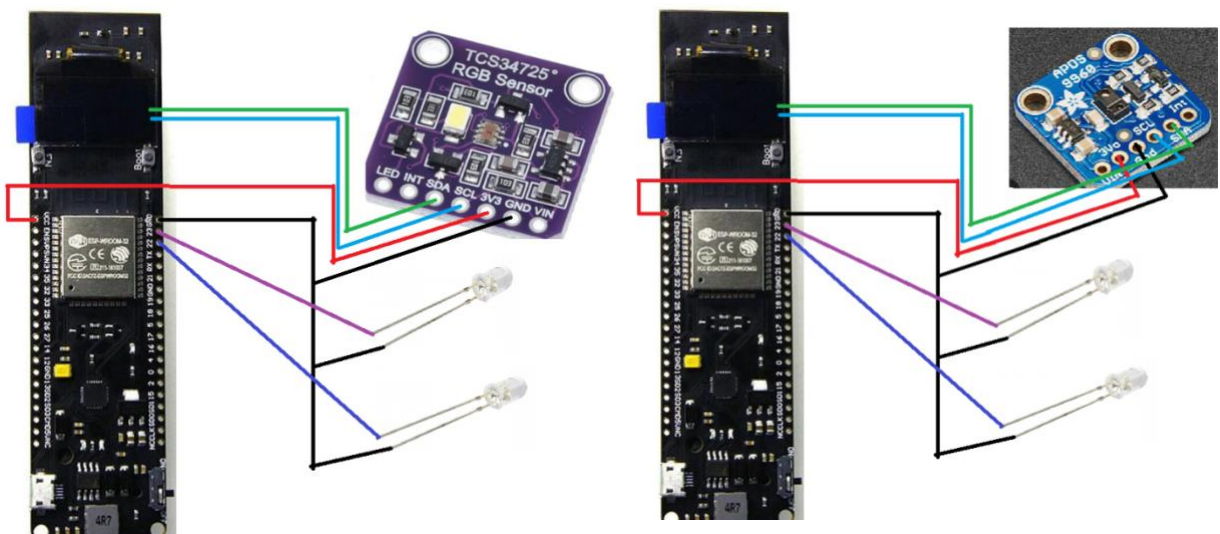
Fonte: Adaptado CurtoCircuito e Adafurit

Como especificação do projeto é a portabilidade os sensores e os leds podem ser alimentados diretamente pelo módulo ESP32 como demonstrado na **Figura 9** e **Tabela 2**.

Com 4 MB de memória flash, o ESP32 permite criar variadas aplicações para projetos de IoT, acesso remoto, web server e dataloggers, entre outros. Após o salvamento da rotina o sistema é alimentado por uma bateria acoplada ao modulo.

A **Figura 9** apresenta uma foto do detalhando das ligações do sensor ao módulo.

Figura 9: Vista das ligações entre o ESP32 e os sensores



Fonte: Autoria própria

A **Tabela 2** apresenta o esquema de ligação dos componentes.

Tabela 2: Tabela de ligações

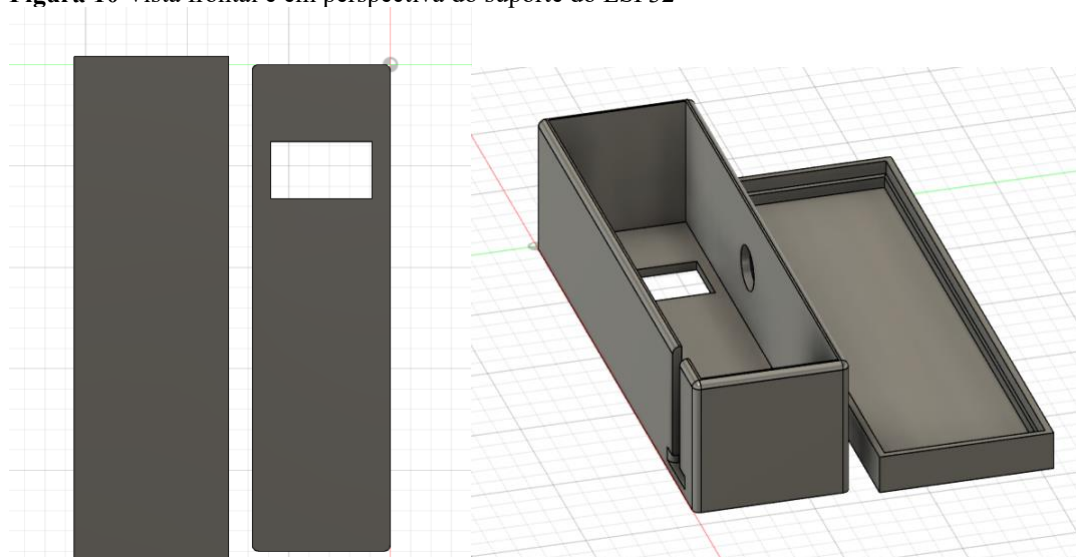
Conexão	Saída do componente	Entrada na placa
Sensor TCS34725	SDA	SDA
Sensor TCS34725	SCL	SCL
Sensor TCS34725	VCC	3.3V
Sensor TCS34725	GND	0V
Sensor APDS9960	SDA	SDA
Sensor APDS9960	SCL	SCL
Sensor APDS9960	VCC	3.3V
Sensor APDS9960	GND	0V
LED verde alto brilho	VCC	Pino 22

LED verde alto brilho	GND	0V
LED branco alto brilho	VCC	Pino 23
LED branco alto brilho	GND	0V
Display	SDA	SDA
Display	SCL	SCL
Display	VCC	3.3V
Display	GND	0V

Fonte: Autoria própria

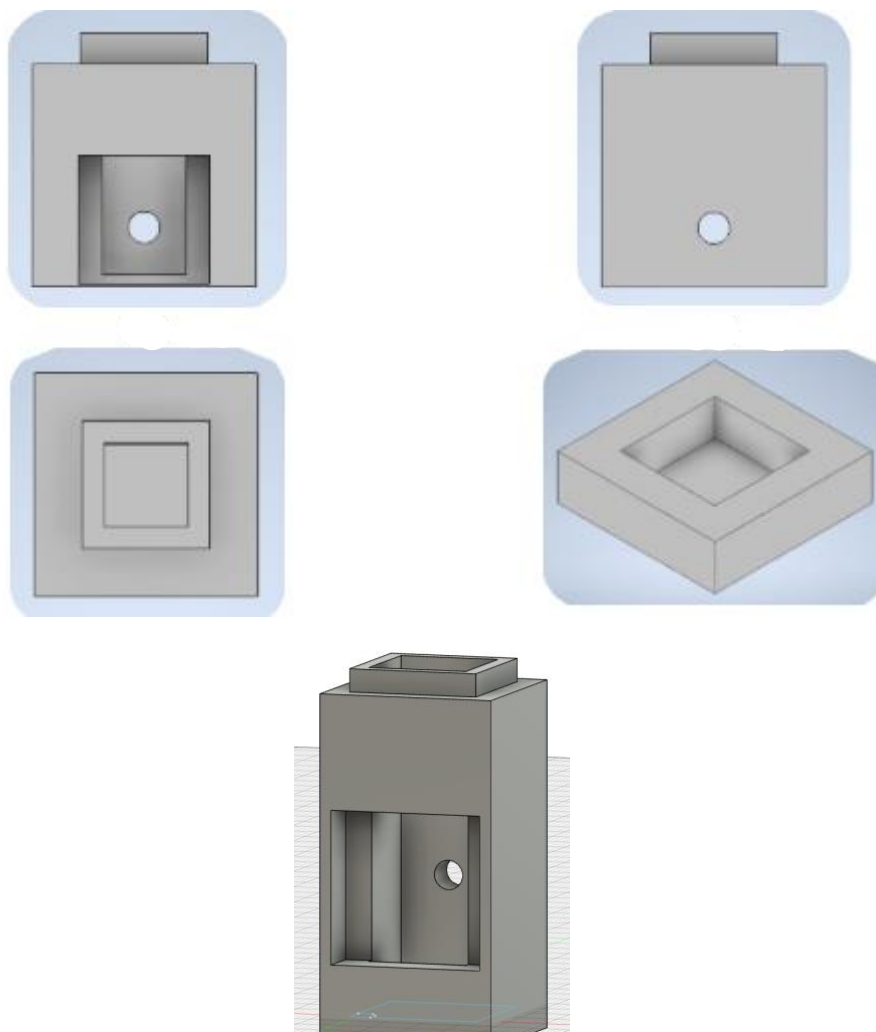
Para a proteção e acomodação dos componentes a geometria dos dispositivos foi avaliada e modelada com o auxílio do *software* gráfico *Fusion 3D*, com as seguintes dimensões para os sensores: 40 mm (altura) x 30 mm (comprimento) x 30 mm (largura), como ilustram a **Figura 11**. Esses suportes personalizados permitiram acomodar os sensores, de forma segura e adequada, garantindo uma correta medição e facilitando a realização dos experimentos. Também foi desenhada uma caixa para acomodar o ESP 32 conectado à bateria, com as seguintes dimensões: 30 mm (altura) x 120 mm (comprimento) x 35 mm (largura), como mostram as **Figura 10**.

Figura 10 Vista frontal e em perspectiva do suporte do ESP32



Fonte: Autoria própria

Figura 11: Vista frontal e em perspectiva do suporte do sensor onde serão acomodados a cubeta com a amostra



Fonte: Autoria própria

O custo do dispositivo contabilizando apenas a eletrônica é de R\$ 242,30 como pode se verificar na **Tabela 3**.

Tabela 3: Tabela de Valores de custo do dispositivo

Nome do componente	Quantidade	Valor (R\$)
Placa ESP32 com OLED	1	150,00
Sensor TCS34725	1	31,70
Sensor APDS9960	1	28,40
LED branco alto brilho	1	0,20
LED verde alto brilho	1	0,20
Jumpers macho& fêmea	1 kit 40 cabos	13,90
Bateria de LI 6800 mAh	1	17,90

Fonte: Autoria própria referências de valores retiradas da internet do dia 30/05/2024

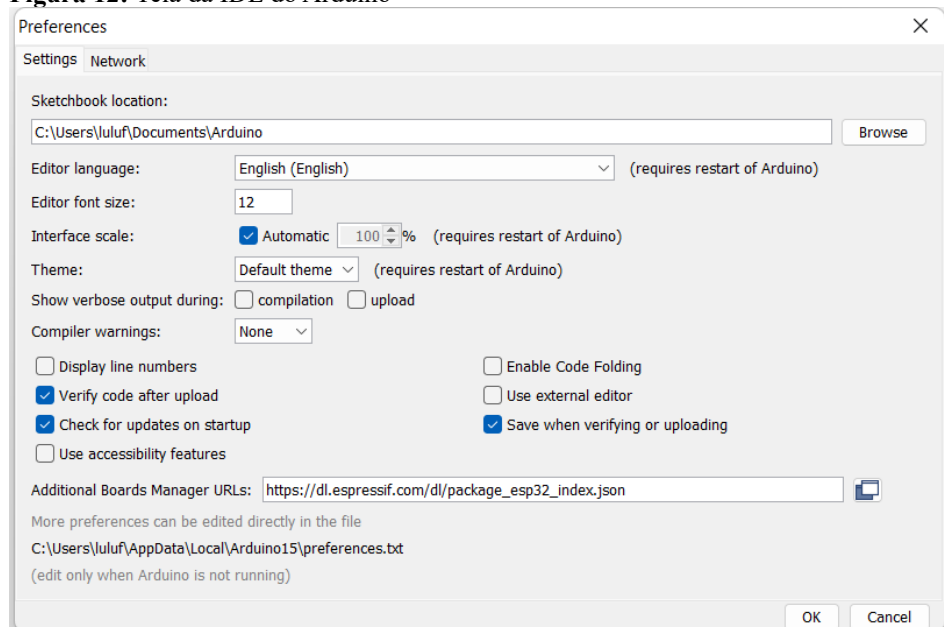
3.2. Programação

Para a configuração do sistema desenvolvido ao display OLED 0.96" I²C embarcado na placa, os valores de R, G e B serão projetados diretamente no dispositivo a modo de verificar a qualidade das informações extraídas através do sensor.

Posteriormente o uso do WI-FI para conectar o módulo em redes wireless (802.11 b/g/n), enviando e recebendo dados de maneira remota, nos modos AP (Access Point/Ponto de acesso) e STA (Station). Desta forma, o dispositivo desenvolvido será capaz de ser controlado e receber dados empregando um smartphone, conferindo maior portabilidade ao sistema.

A configuração do ESP-32 na IDE do Arduino deve ser executada para devido funcionamento da interface de programação com o módulo. Desta maneira para interpretar os códigos desenvolvidos em C++ para interface ESP32 é adicionado no gerenciador de placas a URL do fabricante no menu no menu Files/Preferences como é exemplificado na **Figura 12**. URL disponibilizada pela Espressif Systems: https://dl.espressif.com/dl/package_esp32_index.json

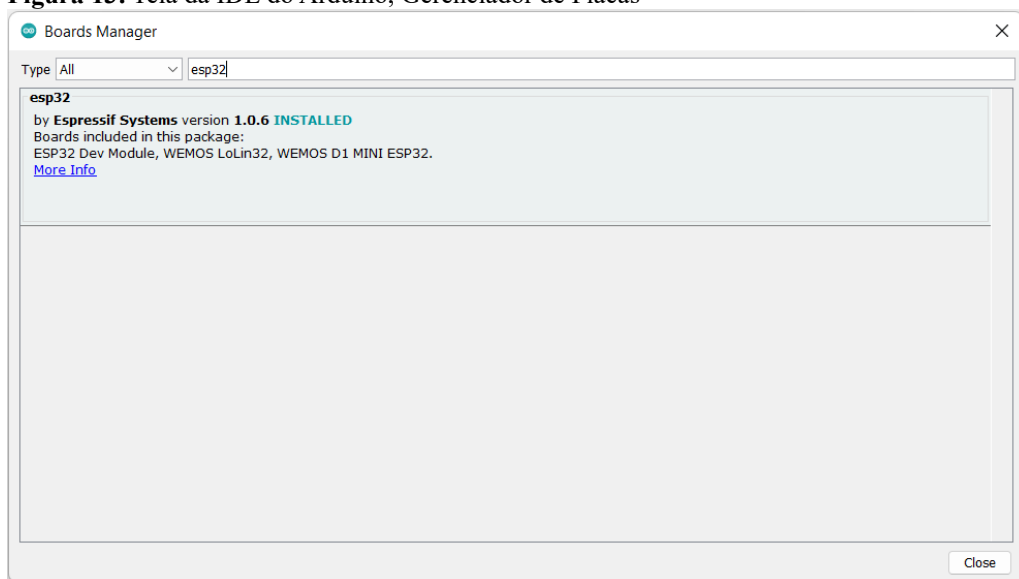
Figura 12: Tela da IDE do Arduino



Fonte: Autoria própria

No ambiente do gerenciador de placas pode-se instalar diversas placas além da ESP. Para este projeto, no menu Tools/Board/Board Manager utiliza-se a versão 1.0.6 de acordo com a **Figura 13**.

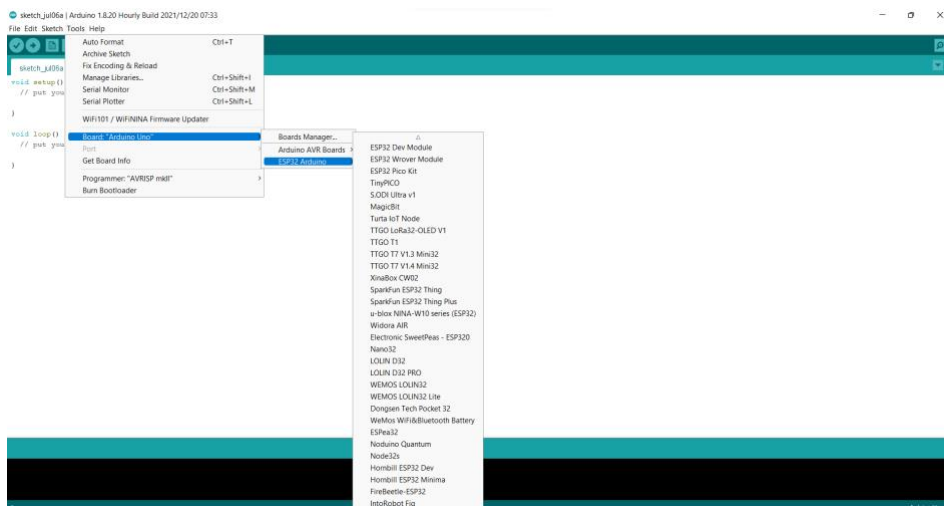
Figura 13: Tela da IDE do Arduino, Gerenciador de Placas



Fonte: Autoria própria

Finalizando, no menu Tools/Board, como demonstrado na **Figura 14**, a seleção do modelo ESP32 Dev Module de acordo com a figura abaixo para a ideal programação da placa. Esta seleção é importante para evitar problemas de incompatibilidade e não compilação do código, devido a algumas bibliotecas serem desenvolvidas especialmente para o modulo que estamos utilizando.

Figura 14: Tela da IDE do Arduino menu de Placas

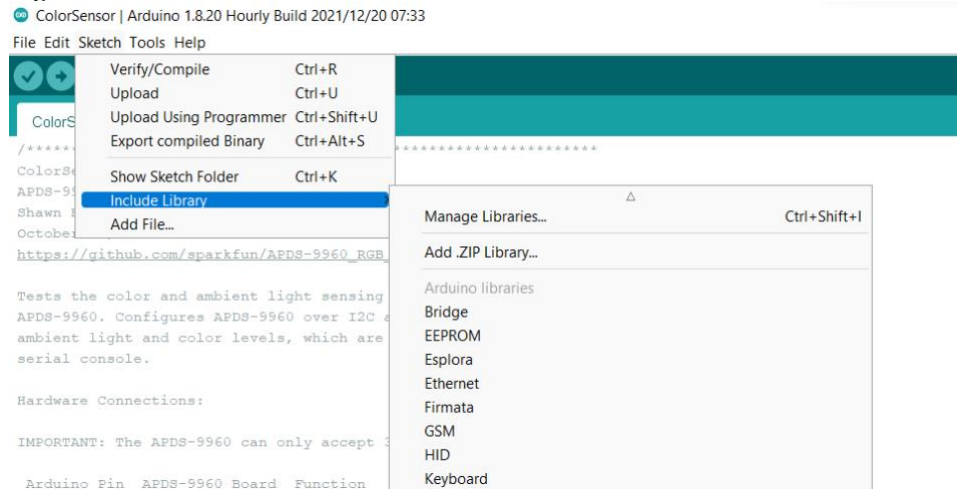


Fonte: Autoria própria

Para adicionar as bibliotecas ao código, primeiramente elas devem ser retiradas de uma fonte confiável. Para isso o ambiente do GitHub foi escolhido com objetivo de instalar a biblioteca do Sensor de Cor, disponibilizado no seguintes links https://github.com/sparkfun/SparkFun_APDS-9960_Sensor_Arduino_Library,

https://github.com/adafruit/Adafruit_TCS34725. Em seguida, adicionada no menu sketch/include library/Add zip Library de acordo com a **Figura 15**.

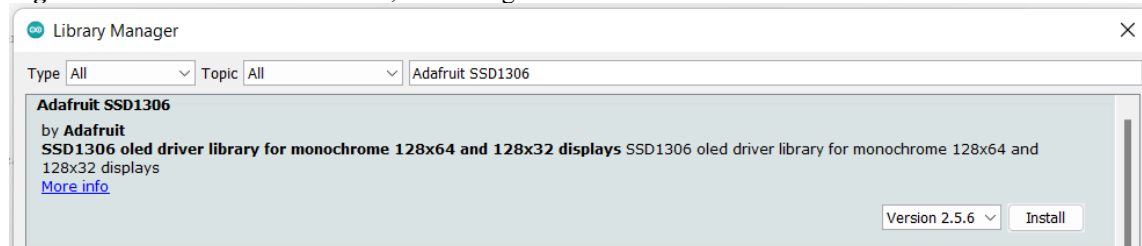
Figura 15 Tela da IDE do Arduino, menu de Bibliotecas



Fonte: Autoria própria

A biblioteca do display foi adicionada diretamente no dentro da IDE do Arduino, visto que ela já estava inclusa no pacote de instalação do modulo ESP32, no menu Sketch/Include Library/Manage Library/Filter your Search/Adafruit SSD1306/Install de acordo com a figura abaixo.

Figura 16: Tela da IDE do Arduino, menu de gerenciamento de Bibliotecas



Fonte: Autoria própria

3.3. Código

Para a escrita do código, inicialmente são declaradas as bibliotecas necessárias para a comunicação I2C, além das definições do tipo de sensor, ganho e tempo de integração para a conversão ADC, conforme os objetivos da análise.

Conforme ilustrado na **Figura 17**, algumas configurações iniciais são de extrema importância, especialmente no que diz respeito ao endereço de memória no protocolo I2C, uma vez que tanto o sensor de cor quanto o display são periféricos nesse protocolo. Por padrão, o display se comunica através do endereço 0x3C, enquanto o sensor de cor,

utilizando sua própria biblioteca, busca um endereço de memória disponível dentro do microcontrolador.

Figura 17: Representação da programação, bibliotecas e configuração I2C

```
#include "SSD1306.h" // alias for
//#include "SSD1306Wire.h"
#include <Wire.h>
#include "Adafruit_TCS34725.h"

/* Inicializa com os valores padrões(int time = 2.4ms, gain = 1x) */
Adafruit_TCS34725 tcs = Adafruit_TCS34725(TCS34725_INTEGRATIONTIME_2_4MS, TCS34725_GAIN_1X);

//objeto controlador do display de led
/*
  0x3c :   é um identificador único para comunicação do display
  pino 5 e 4 são os de comunicação (SDA, SDC)
*/
SSD1306 screen(0x3c, 5, 4);
```

Fonte: Autoria própria

O display é dividido em posições de pixels totalizando uma resolução de 128x64 pixels, sendo necessário, a configuração, de onde as informações são exibidas, portanto é definido os nomes das variáveis e seus respectivos valores conforme ilustrado na

Figura 18.

A inicialização do dispositivo é realizada utilizando a função *void Setup* interna do ambiente de programação onde o microcontrolador recebe os parâmetros de configuração, e entra em modo comunicação com o display, sensor e computador, enviando informações sobre fonte da letra e velocidade de comunicação.

Figura 18: Representação da programação, declaração de valores e inicialização

```
#define POS_X_VERMELHO      2
#define POS_Y_VERMELHO      5
#define POS_X_VERDE        2
#define POS_Y_VERDE        20
#define POS_X_AZUL         2
#define POS_Y_AZUL         35
#define LED                 32
float VALOR_R = 0;
float VALOR_G = 0;
float VALOR_B = 0;

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  tcs.begin();
  pinMode (LED, OUTPUT);
  // Inicializa o objeto que controlará o que será exibido na tela
  screen.init();
  // display.flipScreenVertically();//gira o display 180° (deixa de ponta cabeça)
  screen.setFont(ArialMT_Plain_16);//configura a fonte de escrita "ArialMT_Plain_10"
}
```

Fonte: Autoria própria

Para a leitura dos valores do sensor, foi desenvolvida uma rotina de coleta de dados utilizando uma função específica disponibilizada na biblioteca do sensor. As leituras precisas são realizadas por meio da coleta de um vetor de 100 posições, ou seja, 100 valores por cor, permitindo a execução de uma média simples desses valores conforme ilustrado na **Figura 19**.

Figura 19: Representação da programação, função para coleta de dados

```
void coletadados() {
  float r[100], g[100], b[100];
  float R,G,B;
  //Pega os valores do sensor referentes ao Vermelho(r), Verde(g), Azul(b)
  for(int i=0;i<100;i++){
    tcs.getRGB(&r[i], &g[i], &b[i]);
  }
  for(int i=0;i<100;i++){
    R+=r[i];
    G+=g[i];
    B+=b[i];
  }
  VALOR_R = R/100;
  VALOR_G = G/100;
  VALOR_B = B/100;
}
```

Fonte: Autoria própria

A exibição no display é dada por uma função responsável por configurar e exibir na tela. Com a função disponibilizada na biblioteca do display, são utilizados os parâmetros pré-definidos de posição a modo de facilitar a configuração caso a alteração de display seja necessária. Logo em seguida os valores já recolhidos pela função *coletadados* são exibidos no display conforme a **Figura 20**.

Figura 20: Representação da programação, configuração e escrita no display

```
void drawValores() {  
  
    //limpa todo o display, apaga o conteúdo da tela  
    //screen.clear();  
    coletadados();//coleta valores  
  
    //CONFIGURA ESCRITO  
    screen.drawString(POS_X_VERDE, POS_Y_VERDE, "G: ");  
    screen.drawString(POS_X_VERMELHO, POS_Y_VERMELHO, "R: ");  
    screen.drawString(POS_X_AZUL, POS_Y_AZUL, "B: ");  
    screen.drawString(POS_X_VERDE + 15, POS_Y_VERDE, (String) VALOR_G);  
    screen.drawString(POS_X_VERMELHO + 15, POS_Y_VERMELHO, (String) VALOR_R);  
    screen.drawString(POS_X_AZUL + 15, POS_Y_AZUL, (String) VALOR_B);  
  
    //exibe na tela o que foi configurado até então.  
    screen.display();  
    Serial.print("Vermelho : "); Serial.print(VALOR_R, DEC); Serial.print(" ");  
    Serial.print("Verde     : "); Serial.print(VALOR_G, DEC); Serial.print(" ");  
    Serial.print("Azul      : "); Serial.print(VALOR_B, DEC); Serial.print(" ");  
    Serial.println(" ");  
}
```

Fonte: Autoria própria

Para finalização do programa a função padrão da linguagem Arduino é iniciada, sendo nela responsável por iniciar a leitura do sensor de cor, limpar as informações do display e criar um delay entre ciclos para melhor manuseio e visualização dos dados, demonstrado na **Figura 21**.

Figura 21: Representação da programação, função principal

```
void loop()  
{  
    screen.clear(); //limpa todo o display, apaga o conteúdo da tela  
    drawValores(); //desenha a valores  
    delay(100);  
}
```

Fonte: Autoria própria

Com a compreensão do funcionamento do código no dispositivo para configuração de ganho usual do sensor é construído o código com o modo de envio de dados através da rede Wi-Fi.

Para uso do modo AP adicionadas as bibliotecas nativas do esp32 de acordo com a **Figura 22**, responsáveis por controlar a rede WIFI do chip, a biblioteca WifiAP responsável por criar uma rede onde o ESP é o host de dados de acordo com a **Figura 23**.

Figura 22: Representação da programação, bibliotecas WIFI

```
#include <WiFi.h>
#include <WiFiClient.h>
#include <Wire.h>
```

Fonte: Autoria própria

É declarado as bibliotecas do sensor, neste caso ambos os sensores avaliados estão disponíveis para o usuário as variáveis de posições e configurações do display e sensor. de acordo com a **Figura 23**.

Figura 23: Representação da programação, bibliotecas

```
#include <SparkFun_APDS9960.h>
//#include "Adafruit_TCS34725.h"
#include "SSD1306.h"
#include <WiFiAP.h>

//variaveis
float VALOR_R = 0;
float VALOR_G = 0;
float VALOR_B = 0;
//coordenadas display
#define POS_X_1 2
#define POS_Y_1 5
#define POS_X_2 2
#define POS_Y_2 20
#define POS_X_3 2
#define POS_Y_3 35
SparkFun_APDS9960 apds = SparkFun_APDS9960();
//Adafruit_TCS34725 tcs = Adafruit_TCS34725(TCS34725_INTEGRATIONTIME_2_4MS, TCS34725_GAIN_60X);
SSD1306 screen(0x3c, 5, 4);
```

Fonte: Autoria própria

Podemos observar que o início do código é implementado novas configurações de WiFi, como tempo de resposta do servidor, nome da rede, senha e as strings responsáveis por receber as informações HTML, que serão utilizadas para construir a página web. de acordo com a **Figura 24**.

Figura 24 Representação da programação, configuração Wifi

```
WiFiServer server(80);
const char *ssid = "esp32";
const char *password = "123456789";
//codigo html
String recebe_dados;
String recebe_dados2;
String estado_do_pino_22 = "off";
const int porta_22 = 22;
String estado_do_pino_23 = "off";
const int porta_23 = 23;
int leitura_sensor = 0;
const int porta_34 = 17;
uint16_t ambient_light = 0;
uint16_t red_light = 0;
uint16_t green_light = 0;
uint16_t blue_light = 0;
```

Fonte: Autoria própria

No método Access Point a inicialização do dispositivo é realizada utilizando a função *void Setup* interna do ambiente de programação, onde o microcontrolador recebe os parâmetros de configuração, entrando em modo comunicação com o display e sensor, utilizando a função *void SetupDisplay* enviando informações sobre fonte da letra demonstrado na **Figura 25**.

Figura 25: Representação da programação, Inicialização

```
void setupDisplay() {
    screen.init();
    apds.init();
    //tcs.begin();
    screen.setFont(ArialMT_Plain_16);
}
```

Fonte: Autoria própria

Dentro da função *void Setup* a inicialização da comunicação Wifi é realizada utilizando a função *SetupWifi* onde o microcontrolador recebe os parâmetros de configuração sobre nome e senha da rede, disponibiliza um número de IP para o programa e inicializa o servidor. de acordo com a **Figura 26**.

Figura 26: Representação da programação, Inicialização Wifi

```
int setupWifi() {  
    Serial.begin(115200);  
    WiFi.softAP(ssid, password);  
    IPAddress myIP = WiFi.softAPIP();  
    server.begin();  
  
    return myIP;  
}
```

Fonte: Autoria própria

Após o programa inicializar todas as aplicações a conexão do dispositivo com um aparelho externo é solicitada ao usuário e efetuada pela função `conectaWifi` responsável por exibir no display as etapas da inicialização do dispositivo e disponibilizar para o usuário o endereço IP do servidor para que seja possível visualizar as informações demonstrado na **Figura 27**.

Figura 27: Representação da programação, Inicialização

```
void conectaWifi() {  
    screen.clear();  
    screen.drawString(POS_X_1, POS_Y_1, "Configurando ");  
    screen.drawString(POS_X_2, POS_Y_2, "access point...");  
    setupWifi();  
    screen.display();  
    delay(5000);  
    screen.clear();  
    screen.drawString(POS_X_1, POS_Y_1, "Server started");  
    screen.drawString(POS_X_2, POS_Y_2, "IP address:");  
    screen.drawString(POS_X_3, POS_Y_3, "192.168.4.1");  
    screen.display();  
}
```

Fonte: Autoria própria

A construção da página em HTML exibida na **Figura 28**, é dada pela função `client.print`, nativa da biblioteca `WifiAP`, é responsável por encaminhar linha por linha do código da página para o dispositivo externo exibindo as informações na página.

Figura 28: Representação da programação, estrutura em HTML

```
client.println("<!DOCTYPE html><html>");
client.println("<head><title>Data collect RGB</title><meta name=\"viewport\" content=\"width=device-width, initial-scale=1\"><meta charset=\"utf-8\" />");
client.println("<link rel=\"icon\" href=\"data:,\">");
client.println("<style>html { font-family: Helvetica; display: inline-block; margin: 0px auto; text-align: center;}");
client.println(".button { background-color: #4CAF50; border: none; color: white; padding: 16px 40px;box-shadow:5px 5px 7px;}");
client.println("text-decoration: none; font-size: 30px; margin: 2px; cursor: pointer;");
client.println(".button2 { background-color: #ff0000; border: none; color: white; padding: 16px 40px;box-shadow:5px 5px 7px;}");
client.println("text-decoration: none; font-size: 30px; margin: 2px; cursor: pointer;");
client.println(".button3 { background-color: #3a3939; border: none; color: white; padding: 16px 40px;box-shadow:5px 5px 7px;}");
client.println("text-decoration: none; font-size: 30px; margin: 2px; cursor: pointer;");
client.println("</style></head>");
client.println("<body><h1>Sensor data</h1><p>");
```

Fonte: Autoria própria

A variável do texto HTML é atualizada a cada solicitação do usuário. Por isso, é necessário incluir linhas de código auxiliares para exibir os valores e o status do dispositivo. Quando o microcontrolador recebe informações do smartphone, ele compara esses dados com as informações originais e atualiza a página. Por exemplo, se o usuário clicar no botão para ligar o LED, essa ação é recebida pelo microcontrolador, que então atualiza o status da porta e modifica a cor e o status do botão na página HTML.

Como observado na **Figura 29**, a estrutura do HTML é baseada em um arquivo de texto formatado. Para garantir que as medidas sejam conduzidas corretamente, são empregados métodos para zerar a leitura armazenada nas variáveis. A atualização dos valores ocorre somente após a solicitação do usuário. Esse método é crucial para evitar problemas de contaminação dos valores médios de leitura por informações antigas ou incorretas.

Figura 29: Representação da programação, Estrutura em HTML para atualização de status

```
if (estado_do_pino_22 == "off") {
    client.println("<p><a href=\"/LED/on\"><button class=\"button\">ON</button></a></p>");
}
else {
    client.println("<p><a href=\"/LED/off\"><button class=\"button button2\">OFF</button></a></p>");
}
client.println("<p>Door LED 23 - Status: " + estado_do_pino_23 + "</p>");
if (estado_do_pino_23 == "off") {
    client.println("<p><a href=\"/LED2/on\"><button class=\"button\">ON</button></a></p>");
}
else {
    client.println("<p><a href=\"/LED2/off\"><button class=\"button button2\">OFF</button></a></p>");
}

if (leitura_sensor == 0) {
    client.println("<p><a href=\"/LER/DADOS\"><button class=\"button3\">Measure</button></a></p>");
}
else {
    client.println("<p><a href=\"/ZERAR\"><button class=\"button3\">Zero</button></a></p>");
    VALOR_R = 0;
    VALOR_G = 0;
    VALOR_B = 0;
}
client.println("RED:" + (String)VALOR_R + "</p>");
client.println("<p>GREEN:" + (String)VALOR_G + "</p>");
client.println("<p>BLUE:" + (String)VALOR_B + "</p>");
client.println("<span style=\"font-size:12px;color:#121ab2;margin-top:30%;\">By Matheus</span></body></html>");
client.println();
break;
}
else {
    linha_atual = "";
}
}
```

Fonte: Autoria própria

3.4. Validação do dispositivo

Concluído o processo de programação, o dispositivo é submetido a dois experimentos, a fim de validar as informações coletadas com dados de realização de experimentos anteriores.

No primeiro experimento, a luz de três LEDs RGB é direcionada diretamente para o sensor. A aquisição é realizada ligando um LED por vez para avaliar sua resposta. O valor esperado exibido no display é o máximo de cada cor (no caso, 255).

O segundo experimento, com o dispositivo em funcionamento em AP, é dividido em duas etapas. A primeira etapa é avaliação do sensor TCS34725 conectado ao ESP32 e a segunda etapa é a avaliação do sensor APDS9960, realizando medições de determinação de nitrito em água, complementando o trabalho desenvolvido em CADEADO, A.N.S; MACHADO, CAIO C.S; COSTA, MATHEUS Q. ; SILVA, SIDNEI G. et al (2022).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para análise de qualidade da informação foram escolhidas com o propósito de avaliar o comportamento do sensor diante de cores RGB (vermelho, verde e azul), para verificar se ele responderia de forma positiva sobre as soluções.

As cases impressas em 3D foram desenvolvidas para deixar o dispositivo portátil e realizar as medidas de teste e cálculo da autonomia de bateria do dispositivo totalmente operante.

4.1. Avaliação da qualidade do sensor

Foram empregando leds de alto brilho de cores verde vermelho e azul incididos diretamente no detector, validando a veracidade da informação transmitida pelo sensor e sendo exibidos de forma correta.

Figura 30: Foto do dispositivo em testes



Fonte: Autoria própria

4.2. Construção da case

Os desenhos foram impressos utilizando uma impressora 3D (modelo A2 Core, GTMax, Brasil). O filamento de Ácido Poliláctico (PLA) de cor branca foi escolhido para a case do ESP32, visto que possui características de resistência mecânica. O filamento de Poliftalamida (PPA) de cor branca foi escolhido para a case do sensor e cubeta, visto que possui características de maleabilidade e resistência a umidade e produtos químicos, utilizados no preparo das soluções. Nas **Figuras 31, 32 e 33** são ilustradas fotos do dispositivo com a case impressas.

As impressões adicionaram um valor de 4,5 reais de PLA (30 gramas) e 2 reais de PPA (15 gramas) ao custo total do projeto.

Figura 31: Foto da case do dispositivo



Fonte: Autoria própria

Figura 32: Foto do dispositivo montado



Fonte: Autoria própria

Figura 33:Foto da case para análises em cubetas

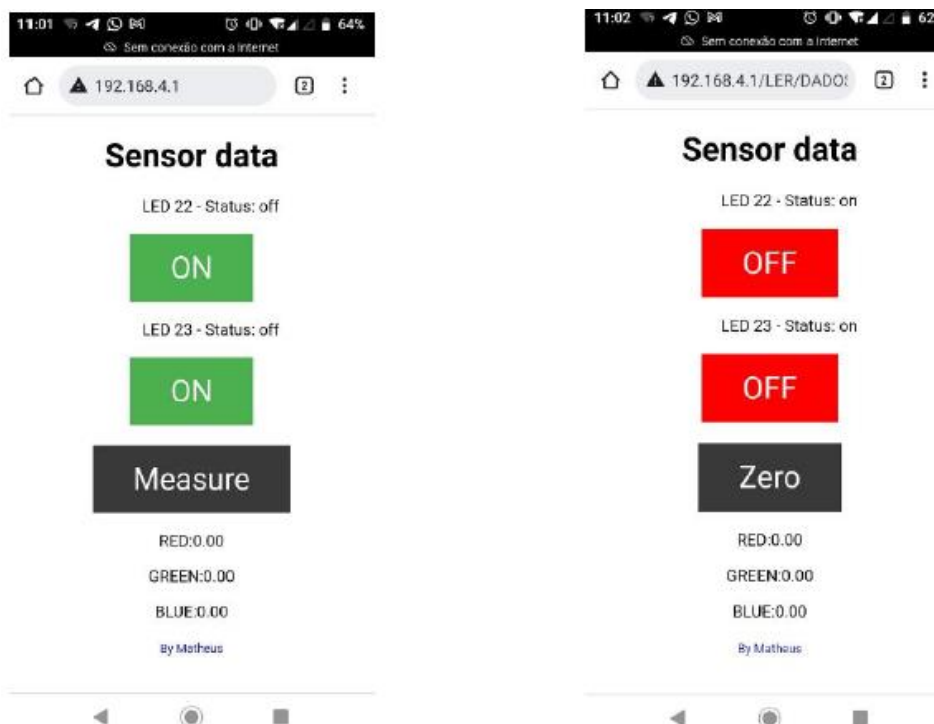


Fonte: Autoria própria

4.3. Construção da interface web

A placa ESP32 foi definida como ponto de acesso pela rede Wi-Fi. O upload do software foi executado e o dispositivo foi conectado a um smartphone. As medições e os resultados puderam ser exibidos em tempo real, por conexão via navegador web no endereço <http://192.168.4.1>. Através da interface, o usuário pode selecionar convenientemente os parâmetros instrumentais adequados, ligar ou desligar os LEDs e fazer as medições. Todas as medições dos três canais são registradas na tela, até clicar para realizar uma nova medição. A **Figura 34** exemplifica de como a interface gráfica é exibida no smartphone.

Figura 34: Foto da interface Web



Fonte: Autoria própria

4.4. Análise na determinação de nitrito em água

Em primeiro momento utilizando o sensor TCS34725 e em segundo momento o dispositivo utilizando o sensor APDS9960, para análise de amostras ambientais de água, para determinação de nitrito.

A determinação do nitrito foi realizada da seguinte forma, 20 μL do reagente de Griess foi transferido diretamente para os tubos de ensaio contendo 500 μL da amostra ou soluções de referência de nitrito e misturados manualmente. A solução foi transferida para uma cubeta de poliestireno e submetido às medições após 10 min.

Diferentes amostras de água natural foram analisadas neste trabalho para nitrito determinação. Água de torneira e de chuva foram coletadas na cidade de Uberlândia. As águas do rio foram coletadas no Rio Uberabinha (Uberlândia, Estado de Minas Gerais). A água doce foi obtida no mercado local. Amostras de água foram armazenadas a 4 °C e analisadas.

Todas as medições dos três canais, utilizando o led branco e o led verde, são registradas no display, até clicar para realizar uma nova medição. Devido a solução de Nitrito possuir a cor rosa, o sinal analítico medido pelo dispositivo é baseado na absorvância do verde (cor complementar).

Após as informações coletadas em todos os dispositivos, foram elaboradas curvas de **Absorção luminosa X Concentração** e comparadas com um espectrofotômetro comercial. (CADEADO,A.N.S; MACHADO,CAIO C.S; COSTA,MATHEUS Q.;SILVA, SIDNEI G. et al 2022)

Pode -se observar na **Tabela 4** que as respostas do dispositivo associado ao APDS9960 e utilizando o led verde, modelam uma curva, que possui uma região linear, que comparadas com o espectrofotômetro se assemelham, validando a utilização do mesmo para análises em campo de baixas concentrações, esperadas nestes ambientes.

Tabela 4 Comparação do procedimento processado empregando APDS9960 RGB, TCS34725 RGB sensores e um espectrofotômetro convencional.

Detector	LED	Curve equation	Linear range (μgL^{-1})	RSD ^a (%)	R ²	LOD ^b (μgL^{-1})
Sparkfun APDS 9960	White	$y = 0.543 C_{\text{NO}_2^-} + 5.5 \times 10^{-3}$	30–1200	0.57	0.998	10
	Green	$y = 0.796 C_{\text{NO}_2^-} + 6.9 \times 10^{-3}$	6–400	0.45	0.997	2
TCS34725	White	$y = 0.431 C_{\text{NO}_2^-} + 0.011$	30–1200	0.98	0.997	9
	Green	$y = 0.549 C_{\text{NO}_2^-} + 3.4 \times 10^{-2}$	20–400	1.07	0.998	7
Spectrophotometer		$y = 0.715 C_{\text{NO}_2^-} + 2.3 \times 10^{-3}$	10–1000	0.41	0.999	4

Fonte- Adaptado de CADEADO, A.N.S; MACHADO, CAIO C.S; COSTA, MATHEUS Q.; SILVA, SIDNEI G. et al (2022)

5. CONCLUSÃO

Em virtude dos progressos feitos pode-se concluir que as estratégias utilizadas, empregando os sensores RGB ao ESP32 apresentaram desempenhos de satisfatório em parte computacional, as informações de medição contêm valores preciso de 10bits.

A proposta demonstrou versatilidade e adaptabilidade com outros sensores da mesma família, possibilitando o uso dentro do meio acadêmico quanto no meio comercial. Visto que a programação e interface são desenvolvidos dentro da IDE do Arduino em linguagem C/C++, possibilitando uma rápida alteração e pouco treinamento de operação.

No quesito de análise in situ se tornou adequado e robusto, possibilitando o deslocamento do dispositivo de forma prática e rápida. O custo do sensor que gira em torno de 30 Reais, e todo a aparelhagem para realizar as medidas custa em torno de 250 reais, outra uma vantagem importante é que pelo modulo ESP32 usado no projeto, uma vez que o sensor está conectado em um display OLED e a conversão ocorre automaticamente, sem a necessidade de um computador.

Além disso ele contém uma um slot para bateria de íon lítio do tipo 18650 possibilitando a instalação de baterias de diversas capacidades, sendo analisada uma autonomia de 7 horas coma utilização de uma bateria de 6800mAh. Sendo assim, o dispositivo possui uma maior portabilidade e fácil utilização podendo ser carregado através de um carregador de celular e um cabo micro usb.

Como resultado da análise a determinação in situ de nitrito em água, com respostas analíticas semelhantes quando comparadas com o comercial espectrofotômetro. Além disso, com o uso deste dispositivo não há necessidade de software ou aplicativo para converter imagens digitais em valores RGB, tornando a análise mais acessível e rápida, melhorando o rendimento da amostra.

O como resultado do trabalho, as informações apresentadas possibilitam que pessoas com pouco conhecimento em programação e procedimentos que utilizam microcontroladores, adentrem no conceito “faça você mesmo “, possibilitando uma integração entre as áreas de conhecimento de Engenharia Elétrica e Química Industrial.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SODA, Y.; BAKKER, E. Quantification of Colorimetric Data for Paper-Based Analytical Devices. **ACS Sensors**, v. 4, n. 12, p. 3093–3101, 2019.

CAPELLA, J. V. et al. A new application of internet of things and cloud services in analytical chemistry: Determination of bicarbonate in water. **Sensors**, v. 19, n. 24, p. 1–13, 2019.

CAPITÁN-VALLVEY, L. F. et al. Recent developments in computer vision-based analytical chemistry: A tutorial review. **Analytica Chimica Acta**, v. 899, p. 23–56, 2015.

DUFFY, G.; REGAN, F. Recent developments in sensing methods for eutrophying nutrients with a focus on automation for environmental applications. **Analyst**, v. 142, n. 23, p. 4355–4372, 2017.

GIANNETTO, M. et al. An integrated IoT-Wi-Fi board for remote data acquisition and sharing from innovative immunosensors. Case of study: Diagnosis of celiac disease. **Sensors and Actuators B: Chemical**, v. 273, p. 1395–1403, 2018.

GRINIAS, J. P. et al. An inexpensive, open-source USB Arduino data acquisition device for chemical instrumentation. **Journal of Chemical Education**, v. 93, n. 7, p. 1316–1319, 2016.

MAYER, M.; BAEUMNER, A. J. A Megatrend Challenging Analytical Chemistry: Biosensor and Chemosensor Concepts Ready for the Internet of Things. **Chemical Reviews**, v. 119, n. 13, p. 7996–8027, 2019.

YUSUFU, D.; MILLS, A. Spectrophotometric and Digital Colour Colourimetric (DCC) analysis of colour-based indicators. **Sensors and Actuators, B: Chemical**, v. 273, p. 1187–1194, 2018.

TEXAS INSTRUMENTS. Application Note. **A Basic Guide to I2C**, v SBAA565, 2022.

SPARKFUN. APDS-9960 RGB and Gesture Sensor Hookup Guide, 2023

AMS AG. TCS3472 Color Light-to-Digital Converter with IR Filter DATASHEET, 2023

MACHADO, CAIO CESAR SOUZA. Construção de um fotômetro portátil com aquisição de dados via smartphone para determinação de oxalato em infusões. 2021. 46 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2021. DOI

10.14393/ufu.di.2021.5581

CORRÊA, LETÍCIA ALMEIDA. Avaliação de sensores ópticos para determinações de fluoreto em amostras de águas. 2022. 46 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2022.

ALVES, L. et al. A Mesh Sensor Network based on Bluetooth: Comparing Topologies to Crop Monitoring. p. 125-130, 2019.

BADEA, M. et al. New electrochemical sensors for detection of nitrites and nitrates. Journal of Electroanalytical Chemistry, v. 509, n. 1, p. 66-72, 2001.

AGUSTINI, D. et al. A low cost, versatile and chromatographic device for microfluidic amperometric analyses. Sensors and Actuators, B: Chemical, v. 304, n. July 2019, p. 127117, 2020.

AINLA, A. et al. Open-Source Potentiostat for Wireless Electrochemical Detection with Smartphones. Analytical Chemistry, v. 90, n. 10, p. 6240-6246, 2018.

CADEADO, A. N. S.; MACHADO, CAIO C. S.; COSTA, MATHEUS Q.; SILVA, SIDNEI G. et al. A palm-sized wireless device for colorimetric nitrite determination in water; Microchemical Journal <https://doi.org/10.1016/j.microc.2022.108138>, nov. 2022.

CADEADO, A. N. S. et al. Internet of Things as a Tool for Sustainable Analytical Chemistry: A Review. Journal of the Brazilian Chemical Society, v. 33, p. 681-692, jun. 2022.

GRAZIOLI, C. et al. A 3D printed Do-It-Yourself miniaturized device with a sensor responsive at six different wavelengths for reflectance measurements on paper-based supports. Microchemical Journal, v. 182, n. August, 2022.

OLIVEIRA, G. DE C. et al. RGB colorsensor for colorimetric determinations: Evaluation and quantitative analysis of colored liquid samples. Talanta, v. 241, n. January, 2022.

SILVA, A. F. S.; GONÇALVES, I. C.; ROCHA, F. R. P. Smartphone-based digital images as a novel approach to determine formaldehyde as a milk adulterant. Food Control, v. 125, n. November 2020, p. 1-7, 2021.

ALVAREZ, C. S. et al. Detection of Volatile Compounds Emitted by Bacteria. Sensors (Switzerland). V Apr; 19(7): 1523. 2019.

ARIZA, J.; BAEZ, H. Understanding the role of single-board computers in engineering and computerscience education: A systematic literature review. *Computer Applications in Engineering Education*, v. 30, n. 1, p. 304-329, 2022.

BEYAZ, A. Comparison of Arduino Based Inexpensive Colorimeter's Effectiveness At Some Agricultural Products. *Fresenius Environmental Bulletin*, v. 26, n. 11, p. 6457- 6469, 2017.