

**UFRRJ**

**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA - PPGGEO**

**DISSERTAÇÃO**

**ANÁLISE DE ENCARGOS E CONTRIBUIÇÕES PARA CONSTRUÇÃO  
DE SISTEMA DE SENsoRES AMBIENTAIS DE BAIXO CUSTO**

**IGOR VIEIRA VARGAS COLARES**

**2024**



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

**ANÁLISE DE ENCARGOS E CONTRIBUIÇÕES PARA  
CONSTRUÇÃO DE SISTEMA DE SENsoRES AMBIENTAIS DE  
BAIXO CUSTO**

**IGOR VIEIRA VARGAS COLARES**

*Sob orientação do Professor*  
**Tiago Badre Marino**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Geografia**, no Programa de Pós-Graduação em Geografia, Área de Espaço, Questões Ambientais e Formação em Geografia.

Seropédica, RJ  
Abril de 2024

**Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico**

**Ficha catalográfica elaborada com os dados  
fornecidos pelo autor**

C683a Colares, Igor Vieira Vargas, 1987-  
Análise de encargos e contribuições para construção  
de sistema de sensores ambientais de baixo custo /  
Igor Vieira Vargas Colares. - Seropédica, 2024.  
67 f.: il.

Orientador: Tiago Badre Marino.  
Dissertação (Mestrado). -- Universidade Federal Rural  
do Rio de Janeiro, Programa de pós-graduação em  
Geografia, 2024.

1. Sensores de baixo custo. 2. Qualidade do Ar. 3.  
Vicon SAGA. 4. Monitoramento ambiental. 5. Arduino.  
I. Marino, Tiago Badre, 1982-, orient. II  
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.  
Programa de pós-graduação em Geografia III. Título.

*O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal  
de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.*

*This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível  
Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001.*



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS



**HOMOLOGAÇÃO DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 34/2024 - IGEO (11.39.00.34)**

Nº do Protocolo: 23083.022605/2024-60

Seropédica-RJ, 08 de maio de 2024.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS / INSTITUTO MULTIDISCIPLINAR  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**IGOR VIEIRA VARGAS COLARES**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Geografia**, no Programa de Pós-Graduação em Geografia, área de concentração em Espaço, Questões Ambientais e Formação em Geografia.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 29/04/2024.

Identificar membros da banca:

Tiago Badre Marino. Dr. UFRRJ  
(Orientador Coorientador[a], presidente da banca)

Gustavo Mota de Sousa. Dr. UFRRJ  
(membro da banca)

Francisco de Assis Dourado da Silva. Dr. UERJ  
(membro da banca)

*(Assinado digitalmente em 08/05/2024 16:03)*  
GUSTAVO MOTA DE SOUSA  
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR  
DeGEOIA (11.39.39)  
Matricula: ###661#0

*(Assinado digitalmente em 08/05/2024 21:25)*  
TIAGO BADRE MARINO  
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR  
CoordPesq (12.28.01.00.00.44)  
Matrícula: ###392#9

*Assinado digitalmente em 09/05/2024 07:00)*  
FRANCISCO DE ASSIS DOURADO DA SILVA  
ASSINANTE EXTERNO  
CPF: ####.###.422-##

Visualize o documento original em <https://sipac.ufrrj.br/public/documentos/index.jsp> informando seu número: **34**, ano: **2024**, tipo: **HOMOLOGAÇÃO DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**, data de emissão: **08/05/2024** e o código de verificação: **d61277674d**

## AGRADECIMENTOS

Toda jornada de aprendizado é um percurso individual e solitário. Muitos obstáculos surgiram e quase todos foram impostos por mim mesmo. Durante o tempo de estudo e pesquisa (que se estendeu além do proposto), pensei em desistir muitas vezes. Em outros momentos, não via motivação para continuar. Por mais que eu tente explicar ou justificar, não surtirá efeito na forma como irão interpretar. Nunca será o verdadeiro conflito que foi esta jornada.

E por seguir e concluir esta etapa, tenho pessoas a agradecer. Algumas sem sequer saber o que estava acontecendo, concederam palavras de apoio e incentivo. Agradeço muito meu orientador, Prof. Dr. Tiago Marino, pela sua paciência e pelo grande incentivo que ofereceu. Por acreditar que eu era capaz de concluir esta dissertação.

Aos meus pais, Ivan e Geanet, e aos meus irmãos Ivan e Ian, por sempre me apoiarem, independente da decisão que eu viesse a tomar (fosse continuar ou não). O suporte de vocês foi e sempre será essencial.

À minha amada esposa Sol, um obrigado com muito carinho, pois foi quem mais presenciou todos os momentos caóticos, de indecisão, de desânimo e, por fim, de retomada. Sempre tentando levantar meu ânimo e confiança. Quero muito ser a pessoa que você enxerga em mim.

Um agradecimento especial ao meu amigo de longa data, Marlon Nunes, que sempre estava disposto a tomar um café, me ouvir e, por fim, me ajudar nesta celeuma interna.

Um agradecimento especial onde toda esta jornada foi acompanhada pelo psicólogo Guilherme B. Ferreira. Agradeço muito ao excelente profissional que és. Este espaço de fala e escuta foi de extrema importância, pois adquiri um aprendizado de autoconhecimento e autocompaixão. Seria formidável que o processo terapêutico fosse mais acessível e menos desvalorizado.

Não posso deixar de agradecer a Deus, pois as palestras espíritas as quais frequento sempre trazem calma e paz. A fé, quando exercida e disseminada sem ambição material, apenas compartilhando o amor, agrupa o conhecimento de forma holística sobre o mundo e para nossa convivência em sociedade.

Espero que esta pesquisa contribua para o meio acadêmico. Poderia ter sido redigida melhor, mas foi o melhor que pude fazer diante da jornada enfrentada, com altos e baixos. O conhecimento adquirido para toda esta dissertação foi muito interessante e acredito que será para o meio acadêmico, mas o aprendizado enriquecedor foi, de fato, para o presente autor.

Deixo o meu muito obrigado àqueles que contribuíram direta ou indiretamente para que esta pesquisa fosse feita e concluída.

*O desejo por conhecimento molda o homem.*

*Patrick Rothfuss*

## RESUMO

O conceito de padrão de qualidade de vida engloba diversos fatores que avaliam o bem-estar individual ou coletivo. Entre eles, destacam-se o tempo dedicado ao trabalho, lazer e serviços de saúde, bem como o acesso a áreas verdes. A poluição atmosférica, causada majoritariamente pela atividade humana, tem impactos significativos na qualidade do ar e na saúde pública. Conferências e acordos internacionais dedicam-se a abordar questões climáticas e reduzir a poluição. A implantação de sistemas de monitoramento ambiental é fundamental para mitigar os impactos da industrialização e do tráfego de veículos na qualidade do ar e na saúde humana. Nesse contexto, o monitoramento da qualidade do ar torna-se essencial, pois permite que medidas mitigadoras e de controle ambiental sejam tomadas de acordo com as necessidades de cada local. Sensores de baixo custo tornam-se opções viáveis para fins acadêmicos e instituições privadas. Sendo assim, a presente pesquisa tem a utilização, análise de encargos e funcionamento do sistema de sensores de baixo custo nomeado de QualiAr. O sistema utiliza como controlador uma placa Arduino, sensor de temperatura e umidade DHT22, sensores de monitoramento do ar MQ-9 e MQ-135, possui placa *Wi-fi* e opção de armazenamento em cartão de memória do tipo SD. A integração, acompanhamento e download de dados foram por meio do SIG Vicon SAGA. Tanto a construção quanto a utilização do sistema são de fácil acesso e manuseio. Os resultados obtidos demonstraram ser satisfatórios, apesar de algumas ressalvas. O sistema apresentou ocasionalmente a interrupção de coleta de dados, a calibração é necessária para melhor apuração dos sensores e uma busca por fonte de energia externa para viabilizar o transporte e para que o uso ininterrupto seja possível.

**Palavras-chave:** monitoramento ambiental, sensores de baixo custo, Vicon SAGA, qualidade do ar, MQ-9, MQ-135, Arduino

## ABSTRACT

The concept of quality of life standards encompasses various factors that assess individual or collective well-being. These include time dedicated to work, leisure, and health services, as well as access to green areas. Air pollution, which is mostly caused by human activity, has significant impacts on air quality and public health. International conferences and agreements are dedicated to addressing climate issues and reducing pollution. The implementation of environmental monitoring systems is essential to mitigate the impacts of industrialization and vehicle traffic on air quality and human health. In this context, air quality monitoring becomes essential, as it allows environmental mitigation and control measures to be taken according to the needs of each location. Low-cost sensors are becoming viable options for academic purposes and private institutions. Therefore, this research focuses on the use, charge analysis, and operation of a low-cost sensor system called QualiAr. The system employs an Arduino board as its controller, a DHT22 temperature and humidity sensor, MQ-9 and MQ-135 air monitoring sensors, a Wi-Fi card, and the option of SD memory card storage. Data is integrated, monitored, and downloaded using the Vicon SAGA GIS. The construction and use of the system are straightforward and intuitive. While the system has occasionally experienced data collection interruptions, these have not significantly affected the overall results. However, to improve the accuracy of the sensors, calibration is necessary. Additionally, an external power source is required for transportation and uninterrupted use.

**Keywords:** environmental monitoring, low-cost sensors, Vicon SAGA, air quality, MQ-9, MQ-135, Arduino

## Índice de Figuras

Figura 1 – Emissões de CO <sub>2</sub> por ano.....	2
Figura 2 – Países com maior acúmulo de emissões de CO <sub>2</sub> de 1850 a 2021. ....	4
Figura 3 - Distribuição de estações de monitoramento de Qualidade do Ar geridas pela gestão pública. Fonte: IEMA (2023) .....	12
Figura 4 - Estações automáticas. Fonte: GEAR, 2020. ....	13
Figura 5 – Estações Semiautomáticas a) PTS, b) MP <sub>10</sub> ou MP <sub>2,5</sub> . Fonte: GEAR, 2020 .....	13
Figura 6 – Placa da estação MonitorAr Rio do bairro Centro. Fonte: O autor.....	14
Figura 7 - Sensor MICS-VZ-89TE com placa Arduino UNO de Silva & Peres, 2017.....	16
Figura 8 - Sensor de Umidade e Temperatura conectados ao Arduino de Araujo, 2020.....	17
Figura 9 – Sensores MQ-9 conectados ao Arduino de Araujo, 2020.....	18
Figura 10 – Projeto CanAirIO. ....	19
Figura 11 – Exemplos de utilização do Vicon SAGA pelo grupo CENACID/UFPR. A – Dispersão de óleo originado pela explosão do navio-tanque no Porto de Paranaguá – PR (2004); B – Terremoto de magnitude 7.1 em Porto Príncipe – Haiti (2010); C – Visão em perspectiva no Google Earth com a sobreposição dos dados cadastrados na Plataforma Vicon/SAGA durante a missão de apoio ao desastre ocorrido na Região Serrana do Rio de Janeiro (2011); D – Deslizamentos e enchentes no Vale do Itajaí (2012). Fonte: CENACID/UFPR.....	21
Figura 12 – Área mostrando concentração de cobertura antirrábica, utilizando a plataforma Vicon SAGA. Fonte: ANDRADE, 2019.....	22
Figura 13 – Metodologia de pesquisa.....	23
Figura 14 - Esquema eletrônico do sensor.....	24
Figura 15 – Sensor de temperatura e umidade DHT22. ....	26
Figura 16 – Modulo MQ-135, a esquerda com o regulador de ajuste fino; e a direita o sensor externo. ....	26
Figura 17 – Módulo MQ-9 a esquerda com o regulador de ajuste fino; e a direita o sensor externo. ....	27
Figura 18- QualiAr mostrando display, botão e os 3 sensores. ....	30
Figura 19- Parte interna do QualiAr. ....	30
Figura 20 – a) Painel Solar; b) Bateria; c) Controlador de Carga. ....	31
Figura 21 – Módulo de alimentação elétrica por energia solar. ....	32
Figura 22 – QualiAr no processo de conexão ao Wifi. a) Tentando conectar a alguma rede; b) gerando um AP; c) disponibilizando nome do AP e senha para conexão. ....	34

Figura 23 – Conexão ao QualiAr via AP.....	34
Figura 24- Acesso ao QualiAr por meio de navegador de internet. ....	35
Figura 25 – Registro de sensor na plataforma Vicon SAGA. .....	36
Figura 26 – Registro do sensor e destaque para o código token API.....	36
Figura 27 – Estabelecendo conexão de dados. ....	37
Figura 28 – Localização da estação Centro do MonitorAR-Rio e o QualiAr. ....	38
Figura 29 - Estação localizada no bairro do Centro. Fonte: O Autor.....	39
Figura 30 – Teste do QualiAr próximo ao cano de descarga veicular. ....	42
Figura 31 – Visor do QualiAr mostrando a variação de aferição dos sensores.....	43
Figura 32 – QualiAr em funcionamento, sensor DHT22 para temperatura e umidade. Q135 e Q9 são os sensores MQ-135 e MQ-9, respectivamente. ....	45
Figura 33 – Comparação de temperatura e umidade do QualiAr com um Termo-higrômetro, mostrando o sensor DHT22. Na primeira linha, lê-se a umidade relativa (62.2%), e na segunda linha, a temperatura (29.9°C).....	46
Figura 34 – Vicon SAGA registrando os dados do QualiAr.....	47

## **Índice de Tabelas**

Tabela 1: Comparativos entre os sensores.....	15
Tabela 2: Sensores climáticos utilizados na tese de Araujo, 2020. (T – Temperatura; H – Umidade; P – Pressão Atmosférica).....	17
Tabela 3: Componentes do QualiAr e seus respectivos valores (em abril de 2024). .....	25
Tabela 4: Custo do Módulo de Alimentação elétrica. ....	32
Tabela 5: Estações MonitorAr-Rio e os respectivos gases monitorados por cada Estação.....	39
Tabela 6: Índice de qualidade do ar.....	41
Tabela 7: Resultados datado em 08/06/2022.....	44

## **Índice de Quadros**

Quadro 1: Relação de qualidade do ar e efeitos a saúde. ....	7
Quadro 2: Componentes utilizados na construção do Sistema QualiAr.....	28

## **Índice de Equações**

Equação 1 – Expressão para resultado do Índice de Qualidade do Ar.....	41
--	----

# Sumário

<b>Capítulo 1 – Introdução .....</b>	1
1.1. Introdução.....	1
1.2. Motivação.....	6
1.3. Objetivos .....	8
1.3.1. Objetivo Geral .....	8
1.3.2. Objetivos Específicos.....	8
<b>Capítulo 2 – Histórico Conceitual .....</b>	9
2.1. Internet, Web 4.0 e Sistema Remoto.....	9
2.2. Qualidade do ar e diretrizes reguladoras.....	10
2.3. Monitoramento da qualidade do ar – Gestão Pública.....	11
<b>Capítulo 3 – Estado da Arte .....</b>	15
3.1. Monitoramento da Qualidade do Ar na cidade de Porto Alegre .....	15
3.2. Sensoriamento de Baixo Custo para Caracterização Ambiental de Espaços Urbanos.....	16
3.3. CanAirIO .....	18
3.4. Vicon SAGA.....	19
<b>Capítulo 4 – Metodologia .....</b>	23
4.1. Concepção .....	23
4.2. Construção de Dispositivos .....	24
4.2.1. Sensor de temperatura e umidade DHT22 .....	26
4.2.2. Sensor MQ-135 .....	26
4.2.3. Sensor MQ-9.....	27
4.2.4. Demais componentes.....	28
4.2.5. Montagem do QualiAr.....	29
4.2.6. Módulo de Alimentação Elétrica por Energia Solar .....	31
4.3. Integração Vicon SAGA.....	33
4.3.1. Experimentação .....	33
4.3.2. Coleta e tratamento de dados .....	37
<b>Capítulo 5 – Análise de Resultados .....</b>	40
5.1. Resultados .....	40
<b>Capítulo 6 – Conclusão e Recomendações.....</b>	47
<b>Capítulo 7 - Referências Bibliográficas .....</b>	49
<b>ANEXOS .....</b>	51



# **Capítulo 1 – Introdução**

## **1.1.Introdução**

O avanço tecnológico tem desempenhado um papel fundamental no monitoramento da qualidade do ar, especialmente com o desenvolvimento e a acessibilidade de sensores de baixo custo, oferecendo uma solução econômica e eficaz para coletar dados ambientais.

O uso de sensores de baixo custo e plataformas de código aberto não só democratiza o acesso à tecnologia de monitoramento ambiental, mas também promove a conscientização sobre a poluição do ar e incentiva ações para a melhoria da qualidade do ambiente. Assim, contribuem significativamente para a proteção do meio ambiente e o bem-estar da população em geral.

O conceito de qualidade de vida é composto por um conjunto de fatores que avaliam e medem o bem-estar de indivíduos ou grupos. Entre esses fatores, destacam-se o tempo gasto no deslocamento para o trabalho, o acesso ao lazer e à cultura, a qualidade dos serviços hospitalares, o conforto e a adequação da moradia, a proximidade a áreas verdes e parques, entre muitos outros critérios (NOBRE, 1995).

No que se refere aos fatores ambientais, a qualidade do ar é um elemento crucial, pois, além de ser essencial para a saúde física e mental, influencia significativamente o ambiente ao seu redor, abrangendo aspectos materiais, humanos e animais. Com o passar do tempo, observa-se um aumento significativo na longevidade. Para que esse aumento da expectativa de vida, com qualidade, seja mantido, é imprescindível cuidar não apenas do bem-estar individual, mas também do ambiente em que vivemos.

A atmosfera terrestre possui gases que permitem a vida devido à sua composição e comportamento. A proteção contra os raios ultravioletas — que são nocivos se incidirem diretamente sobre os humanos —, a respiração e a fotossíntese são alguns dos processos desempenhados pela atmosfera. Em sua composição, encontram-se os gases nitrogênio (78,09%), oxigênio (20,95%), argônio (0,93%), dióxido de carbono (0,035%), entre outros com porcentagem ainda menores (DIAS; ANDRADE NETO; MILTÃO, 2007). Além disso, a atmosfera regula a temperatura da Terra, evitando extremos de calor e frio que poderiam tornar o planeta inóspito. Ela também distribui a umidade ao redor do globo, possibilitando o ciclo da água, essencial para todos os seres vivos. Sem a atmosfera, a Terra seria um ambiente hostil, incapaz de sustentar a biodiversidade que conhecemos.

O aumento populacional, juntamente com o avanço tecnológico e industrial, provocou diversas alterações na qualidade do ar, resultando em um significativo aumento da poluição atmosférica. A intervenção humana no meio ambiente tem sido perceptível ao longo dos séculos, intensificando-se após as revoluções industriais, quando houve uma transição da produção artesanal para a produção em larga escala. Esse crescimento produtivo foi ainda mais acentuado com a exploração de novas fontes de energia, como o petróleo, utilizado como combustível, e o urânio, empregado nas usinas de energia nuclear.

Para uma estimativa deste aumento da poluição, cerca de 52.74% da emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) em todo o mundo ocorreram nos últimos 30 anos, conforme pode-se observar na Figura 1 (Global Carbon Project, 2021), mencionado em uma reportagem da BBC.

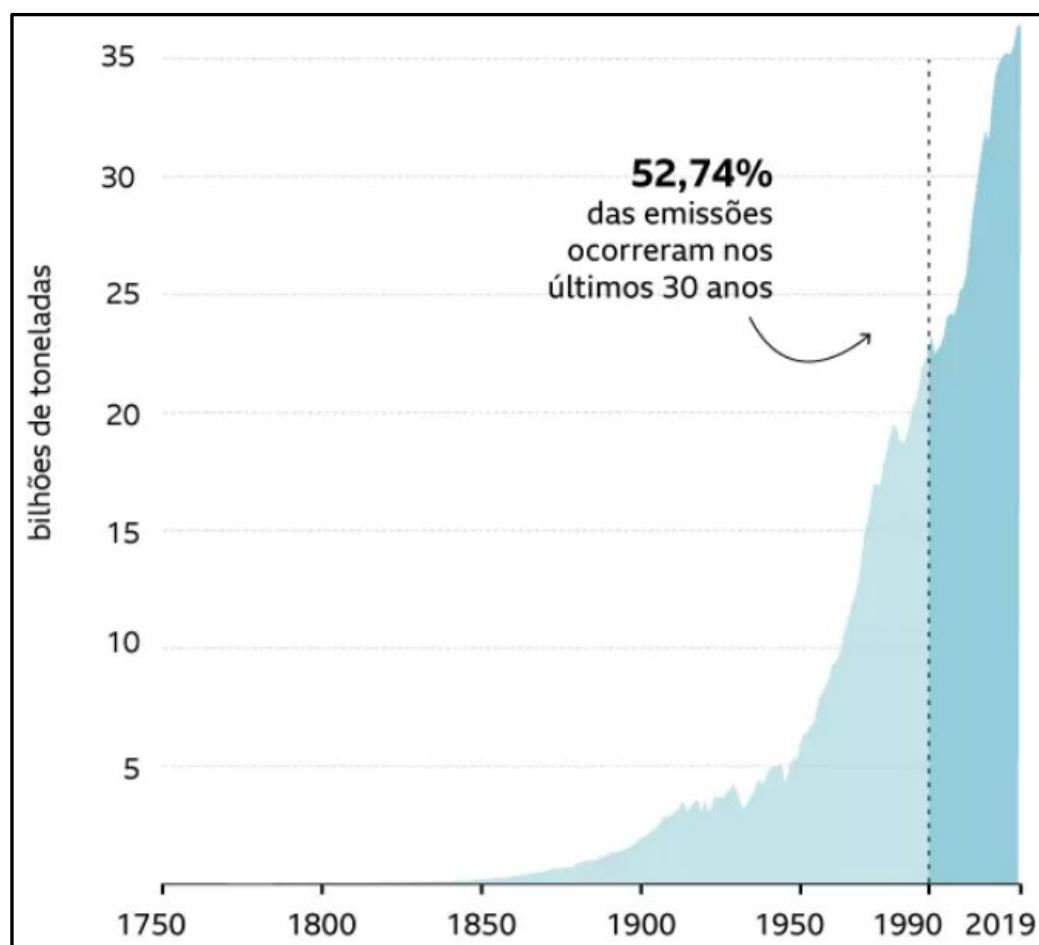


Figura 1 – Emissões de CO<sub>2</sub> por ano.

Fonte: Global Carbon Project, 2021.

Além desses fatores, houve um aumento substancial na população e, consequentemente, uma urbanização mais acelerada. Toda a reorganização dos espaços e o consumismo exacerbado contribuíram e tendem a continuar contribuindo para a degradação da natureza e a poluição desenfreada, caso não sejam implementados meios eficazes de equilibrar essa demanda.

De acordo com a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 491, de 18 de novembro de 2018 (BRASIL, 2018), define-se como poluição atmosférica qualquer forma de matéria em quantidade e concentração que possam tornar o ar impróprio ou nocivo à saúde, ao bem-estar público, e que causem danos a materiais, à fauna e à flora.

Um dos principais gases nocivos que compõem a lista de poluentes atmosféricos é o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Conforme mostrado na Figura 1, o Brasil registra 32% de suas emissões provenientes de atividades de transporte, uma taxa elevada em comparação à média mundial de 22% (DRUMM et al., 2014). Em 2021, o Brasil emitiu 2,42 bilhões de toneladas brutas de  $\text{CO}_2$ , a maior emissão em 16 anos (SEEG, 2021). Esse aumento significativo deve-se, em grande parte, ao desmatamento na Amazônia, que cresceu 21,97% em relação a 2020. Além de reduzir a quantidade de árvores que capturam carbono, as árvores derrubadas liberam o  $\text{CO}_2$  armazenado de processos anteriores. No Brasil, predomina o transporte terrestre que utiliza a queima de combustíveis fósseis (petróleo e seus derivados). Além disso, muitos veículos são de frotas antigas e possuem pouca manutenção, resultando em uma menor capacidade de filtragem e, consequentemente, em maiores emissões de monóxido de carbono (CO) e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ).

Outro fator agravante para o aumento dos poluentes atmosféricos, em especial o  $\text{CO}_2$ , é a mudança no uso do solo. Desmatamentos e queimadas geram emissões desse gás e reduzem a área verde. Conforme ilustrado na Figura 2, o Brasil ocupa o 4º lugar mundial entre os países com maior emissão de  $\text{CO}_2$  entre 1850 e 2021 (CarbonBrief, 2021).

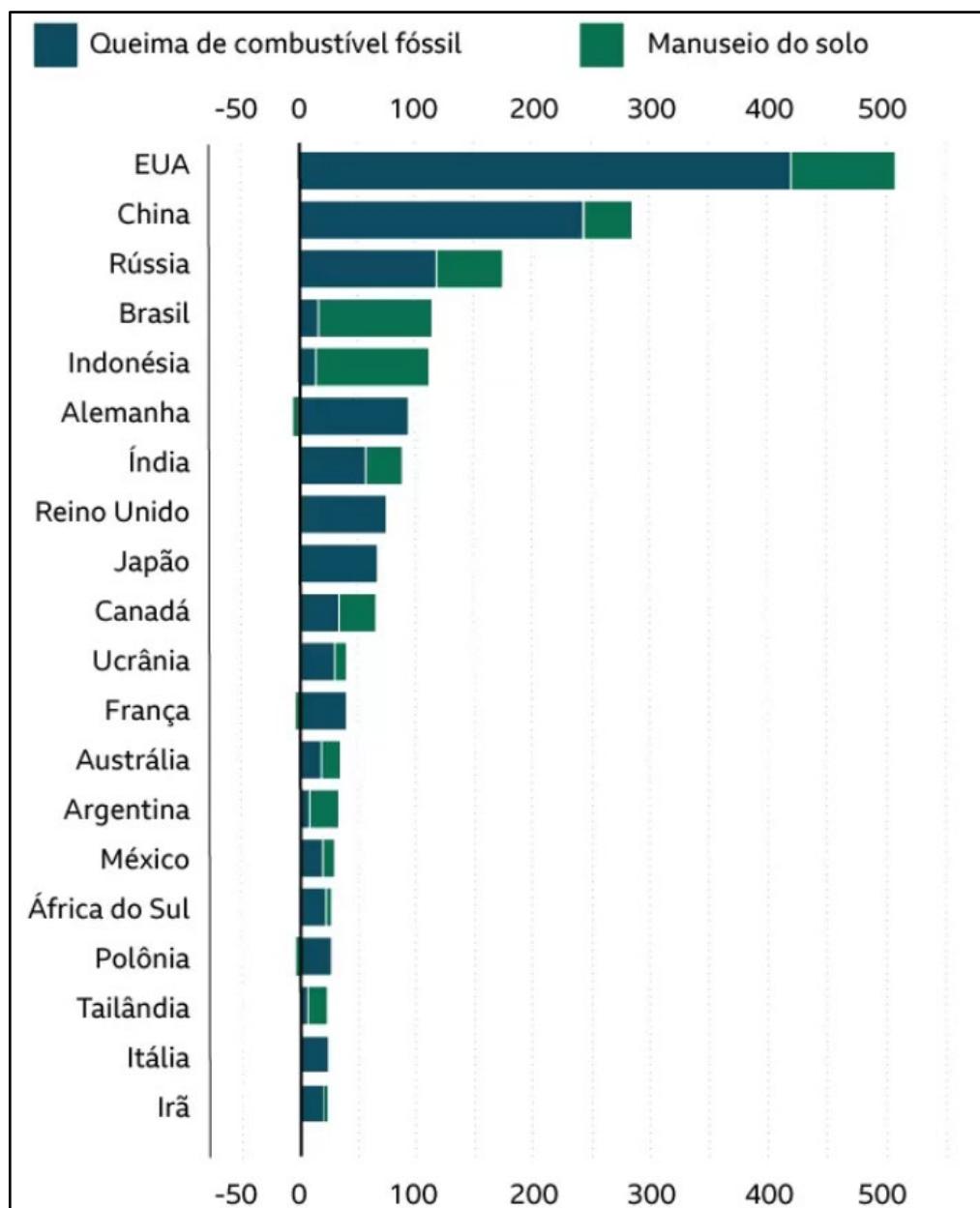


Figura 2 – Países com maior acúmulo de emissões de CO<sub>2</sub> de 1850 a 2021.

Fonte: Carbon Brief, 2021

A discussão sobre o clima e, especialmente, sobre a emissão de carbono é de extrema importância. Existem conferências e acordos mundiais que abordam e debatem formas de conciliar o avanço tecnológico com a sustentabilidade e implementar medidas mitigadoras para retardar a poluição. Exemplos desses organismos incluem a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC) e o Acordo de Paris de 2015.

Monitorar a qualidade do ar e seus componentes é fundamental para a implementação de medidas de controle e ajustes adequados. Com o rápido crescimento urbano, industrialização e aumento do tráfego de veículos, a poluição do ar tem alcançado níveis que afetam significativamente a qualidade de vida de todos os seres vivos, incluindo o meio ambiente e a

saúde humana. Além disso, a redução das áreas verdes tem contribuído para a deterioração da qualidade do ar. A diminuição dessas áreas resulta na perda de um importante agente na luta contra a poluição atmosférica, uma vez que as florestas desempenham um papel crucial na redução das emissões de CO<sub>2</sub> por meio da fotossíntese e no controle da umidade ambiental.

Em 1992, a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, conhecida como ECO-92, ganhou destaque devido à representação de 176 países e por iniciar discussões sobre questões ambientais em escala global e unificada. A partir desse marco, o Brasil iniciou seus planos de ação em prol do desenvolvimento sustentável.

No que diz respeito à saúde humana, diversos problemas respiratórios e circulatórios têm origem na inalação de poluentes presentes no ar. Estima-se que mais de 50 mil pessoas morram anualmente no Brasil devido à má qualidade do ar (FELIN, 2018). Esses problemas incluem dores de cabeça, irritação nos olhos e nariz, infecções e inflamações do trato respiratório, além de casos graves de doenças cardiovasculares, câncer e impactos no sistema digestivo causados pela poluição atmosférica.

Nesse contexto, a implementação de um sistema de sensores ambientais com custo reduzido torna-se uma proposta interessante para aprimorar a coleta de dados e disponibilizá-los a um número maior de interessados, sejam eles órgãos públicos, entidades privadas ou pesquisadores. Monitorar a qualidade do ar possibilita a implementação de políticas para mitigar os impactos gerados pela industrialização e pelo grande fluxo de veículos, os principais emissores de poluentes.

O sistema de sensores QualiAr, proposto para esta pesquisa, oferece uma nova opção para o monitoramento da qualidade do ar utilizando sensores de baixo custo. Este projeto destaca a acessibilidade da construção do sistema e detalha os processos percorridos, desde a concepção até a implementação.

## 1.2. Motivação

Ao longo das últimas décadas, observa-se um avanço tecnológico exponencial. Atrelado a esse desenvolvimento, há uma interconexão entre diversas áreas do conhecimento, com a tecnologia auxiliando e melhorando setores como saúde, meio ambiente, monitoramento, uso e cobertura do solo, entre muitos outros. Além disso, o surgimento de placas de prototipagem eletrônica, como o Arduino, e, também, computadores de placa única, como o *Raspberry Pi*, entre outras plataformas de desenvolvimento, combinados com sensores, possibilita o monitoramento de diversos parâmetros ambientais, permitindo o desenvolvimento de sistemas de monitoramento com baixo custo de produção e fácil acesso.

Com esse suporte tecnológico, tem sido possível observar e monitorar as condições ambientais, especialmente no que se refere à qualidade do ar. O monitoramento da qualidade do ar ganhou importância nas últimas décadas devido ao aumento da poluição e seu impacto na saúde humana.

Organismos mundiais têm tomado iniciativas para conter e controlar esse aumento da poluição, especialmente em relação à interação entre o homem e o meio ambiente. Em 2015, o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) adotou os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que têm como objetivo apoiar o desenvolvimento dos países de maneira a equilibrar a sustentabilidade social, econômica e ambiental.

Esses objetivos promovem a integração de ações, ou seja, um investimento e melhoria em uma determinada área também beneficiará outras. Os 17 ODS estabelecem diretrizes para um desenvolvimento mais sustentável e, em relação à presente pesquisa, seis desses objetivos estão relacionados com a qualidade do ar e a emissão de CO<sub>2</sub>, seja de forma direta ou indireta.

Citando o objetivo de número 11 – Cidades e Comunidades Sustentáveis –, este envolve investimentos em transportes públicos mais sustentáveis e na criação de espaços verdes (PNUD, 2015). Assim, é necessária a análise das emissões de poluentes atmosféricos em determinados locais para que, por fim, sejam implementadas as medidas adequadas.

Com o intuito de compreender os possíveis efeitos colaterais à saúde humana decorrentes da qualidade do ar, o CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) elaborou uma tabela com cinco níveis de classificação da qualidade do ar. O Quadro 1 foi adaptado do relatório diário de qualidade do ar da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), contendo as fases e as possíveis reações causadas pela poluição. A CETESB, por sua vez, elaborou este quadro de acordo com as diretrizes dos relatórios da Organização

Mundial da Saúde (OMS). A OMS realiza verificações periódicas sobre os efeitos colaterais decorrentes da qualidade do ar.

Quadro 1: Relação de qualidade do ar e efeitos a saúde.

Qualidade do Ar	Efeitos
N1 - Boa	Praticamente não há riscos à saúde.
N2 - Moderada	Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas) podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço. A população em geral não é afetada.
N3 - Ruim	Toda a população pode apresentar sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta. Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas) podem apresentar efeitos mais sérios na saúde.
N4 - Muito Ruim	Toda a população pode apresentar agravamento dos sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta e ainda falta de ar e respiração ofegante. Efeitos ainda mais graves à saúde de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas).
N5 - Péssima	Toda a população pode apresentar sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares. Aumento de mortes prematuras em pessoas de grupos sensíveis.

Fonte: Cetesb, 2019.

O Quadro 1 possui 5 níveis de classificação, sendo eles: Boa, Moderada, Ruim, Muito Ruim e Péssima. Para cada classificação há o descritivo de possíveis efeitos colaterais à saúde e população afetada. Para efeito de divulgação, utiliza-se o índice mais elevado. Embora a qualidade do ar de uma estação seja avaliada para todos os poluentes monitorados, sua classificação é determinada pelo maior índice registrado (pior caso).

### **1.3.Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo Geral**

A presente pesquisa tem como objetivo geral analisar custos, benefícios e a confiabilidade de medição de um sistema com sensores de baixo custo, visando o monitoramento da qualidade do ar com enfoque no protótipo “Qualiar” desenvolvido pelo Laboratório Integrado de Geografia Física Aplicada da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (LiGA/UFRRJ).

#### **1.3.2. Objetivos Específicos**

1. Realizar uma revisão completa do estado da arte relacionada à caracterização e aos desafios enfrentados na concepção de sensores de baixo custo voltados para o monitoramento ambiental.
2. Conduzir, avaliar e relatar experimentos com o equipamento de monitoramento ambiental do sistema QualiAr.
3. Analisar e avaliar como o baixo custo impacta a construção e a utilização do equipamento desenvolvido.

## **Capítulo 2 – Histórico Conceitual**

Para o capítulo 2 tem-se alguns conceitos que amparam a atual pesquisa e dão direcionamento a qual caminho seguir.

### **2.1. Internet, Web 4.0 e Sistema Remoto**

A Internet é uma das invenções mais revolucionárias da história da humanidade, surgindo na década de 1960 como uma rede de computadores interconectados para compartilhar informações acadêmicas e militares. A partir das décadas de 1970 e 1980, os computadores tornaram-se mais acessíveis, impulsionando seu uso pessoal. Nos anos 1990, a internet, também chamada de web, se disseminou mundialmente, revolucionando os meios de comunicação, informação e comércio (PIMENTEL & FUKS, 2012).

Desde então, a web passou por constantes evoluções e melhorias. Na versão web 3.0, possibilitou-se a personalização da experiência do usuário através da inteligência artificial, oferecendo anúncios personalizados e uma navegação mais segura, transparente e rápida. Essa fase também otimizou a internet para dispositivos móveis, melhorando a fluidez e a qualidade de uso (ZEDNIK; SALES; HARVEY, 2019).

A web 4.0, ainda em desenvolvimento, integra tecnologias avançadas como realidade aumentada, inteligência artificial e Internet das Coisas (IoT), promovendo uma maior interação entre humanos e máquinas. A IoT permite o controle remoto e a interação por comandos de voz com diversos dispositivos eletrônicos, ampliando as possibilidades de monitoramento e coleta de dados (IBRAHIM, 2021).

Sistemas de monitoramento remoto são cada vez mais viáveis em tempo real, com a melhoria constante da internet e os recursos tecnológicos disponíveis. Toda essa evolução contínua tem transformado profundamente a forma como vivemos, trabalhamos e nos comunicamos.

## 2.2. Qualidade do ar e diretrizes reguladoras

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), após a assembleia de 2015, reconheceu-se que a poluição do ar é um fator de risco para doenças não transmissíveis, como doença isquêmica do coração, acidente vascular cerebral, doença pulmonar obstrutiva crônica, asma e câncer (WHO, 2021).

Também em 2015, ocorreu a COP21 (Conferência das Partes) em Paris, França, uma reunião anual dos países signatários da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC, acrônimo em inglês), onde se discutiu amplamente as mudanças climáticas. Nesta conferência, foi firmado o Acordo de Paris, com o objetivo de limitar o aumento da temperatura global a menos de 2 graus Celsius acima dos níveis pré-industriais. O acordo visa reduzir as emissões de gases de efeito estufa e aumentar a capacidade de adaptação dos países às mudanças climáticas (FRANCO et al., 2022).

No Brasil, o órgão de referência sobre a qualidade do ar é o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que em 2018 revogou a Resolução nº 03/1990 e regulamentou a Resolução nº 491/2018. Essa resolução, que se baseia no Guia de Qualidade do Ar da Organização Mundial da Saúde (OMS), faz parte do Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar – PRONAR (BRASIL, 2018).

Segundo o Artigo 2º, da Resolução 491/2018, temos como definição:

I - poluente atmosférico: qualquer forma de matéria em quantidade, concentração, tempo ou outras características, que tornem ou possam tornar o ar impróprio ou nocivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade ou às atividades normais da comunidade;

II - padrão de qualidade do ar: um dos instrumentos de gestão da qualidade do ar, determinado como valor de concentração de um poluente específico na atmosfera, associado a um intervalo de tempo de exposição, para que o meio ambiente e a saúde da população sejam preservados em relação aos riscos de danos causados pela poluição atmosférica. (CONAMA, 2018)

Visando a homogeneidade dos padrões para o monitoramento da qualidade do ar no Brasil, o Ministério do Meio Ambiente (MMA) elaborou um Guia Técnico para Monitoramento e Avaliação da Qualidade do Ar, em conjunto com os órgãos ambientais estaduais e distritais. O objetivo é ampliar a rede de monitoramento da qualidade do ar, servindo como guia e estabelecendo parâmetros para que novos estados implantem o Programa. Além disso, busca-se uniformizar os parâmetros para aqueles estados que já possuem estações de monitoramento (MMA, 2020).

Existem compromissos de controle e monitoramento relacionados à questão climática, principalmente no que diz respeito à qualidade do ar. De acordo com o relatório de Benefícios de Ação Climática Urbana do Grupo de Liderança Climática das Cidades C40 de 2019, as cidades são responsáveis por 70% das emissões globais de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>). No caso da cidade do Rio de Janeiro, o setor de transporte rodoviário é responsável por 30% a 60% das emissões de Material Particulado 2,5 micrômetros (MP<sub>2,5</sub>) (C40 CITIES, 2019).

O C40 é um grupo composto pelas maiores cidades do mundo, representadas pelos respectivos prefeitos, que estabelecem medidas para o combate à crise climática. O grupo C40 possui 96 cidades membros, além de inúmeras outras que participam das Conferências. Entre as metas discutidas, a cidade do Rio de Janeiro comprometeu-se a substituir sua frota de ônibus públicos por veículos com emissão zero de gases poluentes, iniciando em 2025, com a expectativa de que até 2030, 20% da frota pública de transporte rodoviário seja composta por ônibus elétricos (C40 CITIES, 2019).

### 2.3. Monitoramento da qualidade do ar – Gestão Pública

De acordo com o Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA), das vinte e sete Unidades Federativas, apenas Bahia, Ceará, Distrito Federal, Espírito Santo, Goiás, Minas Gerais, Paraná, Pernambuco, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul e São Paulo possuem sistemas de monitoramento da qualidade do ar (IEMA, 2023). A concentração de estações de monitoramento está localizada na região Sudeste, enquanto a região Norte não possui nenhuma estação.

Na Figura 3, observa-se a distribuição das estações de monitoramento da qualidade do ar, cujos dados o IEMA coleta a partir de fontes abertas dos relatórios anuais dos estados. Dessa forma, concentram-se as informações para monitoramento do ar, com o intuito de gerar transparência e aperfeiçoar as políticas públicas relacionadas aos poluentes atmosféricos e, consequentemente, à qualidade do ar.

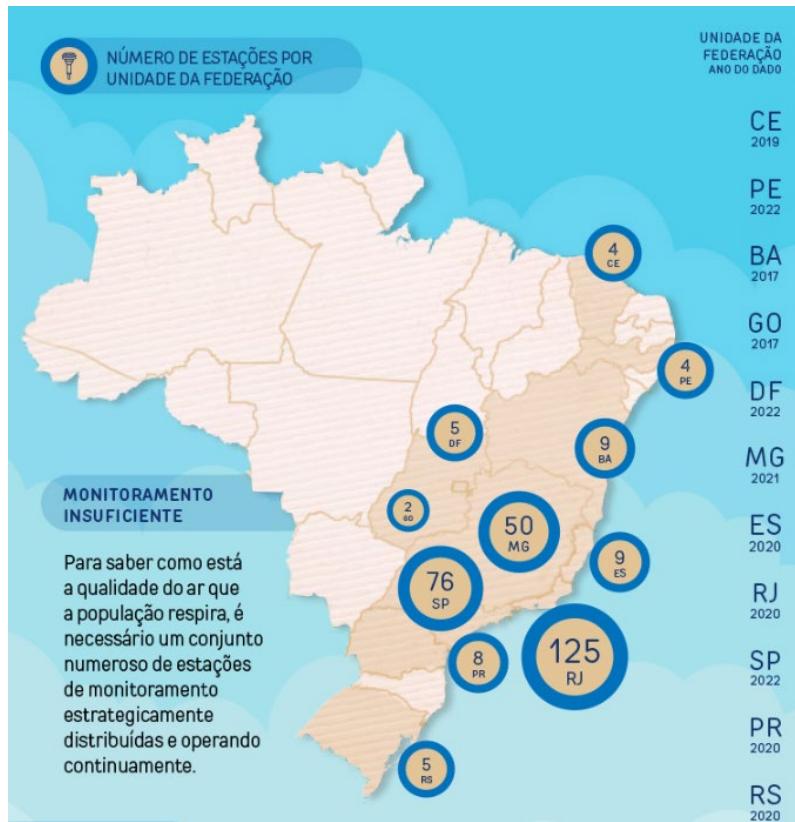


Figura 3 - Distribuição de estações de monitoramento de Qualidade do Ar geridas pela gestão pública. Fonte: IEMA (2023)

No Estado do Rio de Janeiro, a Gerência de Qualidade do Ar (GEAR), um setor do Instituto Estadual do Ambiente (INEA), monitora a qualidade do ar em 150 estações. Essas estações, tanto próprias quanto de iniciativa privada, também monitoram parâmetros meteorológicos, como direção e velocidade do vento, temperatura, umidade relativa, radiação solar, pressão atmosférica e precipitação, conforme detalhado no Relatório de Qualidade do Ar do Estado do Rio de Janeiro Ano-Base 2018 (INEA, 2020).

O relatório destaca que a Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ), composta por 22 municípios, é a área com a maior concentração de indústrias e veículos, sendo 77% das emissões de gases poluentes desta região provenientes de fontes veiculares. Na RMRJ, existem 98 estações de monitoramento, das quais 43 são automáticas e 55 são semiautomáticas (INEA, 2020).

As estações automáticas realizam medições contínuas e seus dados são enviados em tempo real para a central do INEA. Além dos parâmetros meteorológicos mencionados anteriormente, essas estações monitoram os seguintes poluentes: dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), ozônio (O<sub>3</sub>), hidrocarbonetos (HC - totais, metano e não metano), compostos orgânicos voláteis (COV - como benzeno, tolueno e

xileno) e material particulado (MP) em suspensão na atmosfera, nas frações partículas totais em suspensão (PTS), material particulado com diâmetro até 10  $\mu\text{m}$  (MP<sub>10</sub>) e material particulado com diâmetro até 2,5  $\mu\text{m}$  (MP<sub>2,5</sub>). A Figura 4 apresenta uma estação automática e os sensores em funcionamento.



Figura 4 - Estações automáticas. Fonte: GEAR, 2020.

As estações semiautomáticas realizam o monitoramento contínuo por 24 horas, a cada seis dias, da concentração de material particulado em suspensão. As frações coletadas incluem Partículas Totais em Suspensão (PTS), Material Particulado com diâmetro até 10  $\mu\text{m}$  (MP<sub>10</sub>) e Partículas Inaláveis com diâmetro até 2,5  $\mu\text{m}$  (MP<sub>2,5</sub>). A Figura 5 apresenta as estações semiautomáticas.



Figura 5 – Estações Semiautomáticas a) PTS, b) MP<sub>10</sub> ou MP<sub>2,5</sub>. Fonte: GEAR, 2020

Desde 2011, a Prefeitura Municipal da Cidade do Rio de Janeiro possui oito estações fixas de monitoramento da qualidade do ar, denominadas MonitorAr-Rio (RIO DE JANEIRO, 2011), que emitem relatórios diários.

Assim como as estações estaduais do INEA, o MonitorAr-Rio também acompanha dados meteorológicos, como velocidade do vento, direção do vento, radiação solar, precipitação pluviométrica, umidade relativa do ar, temperatura e pressão atmosférica. As estações possuem placas informando quais parâmetros são monitorados por cada unidade, conforme pode ser visto na Figura 6, referente à Estação Centro.

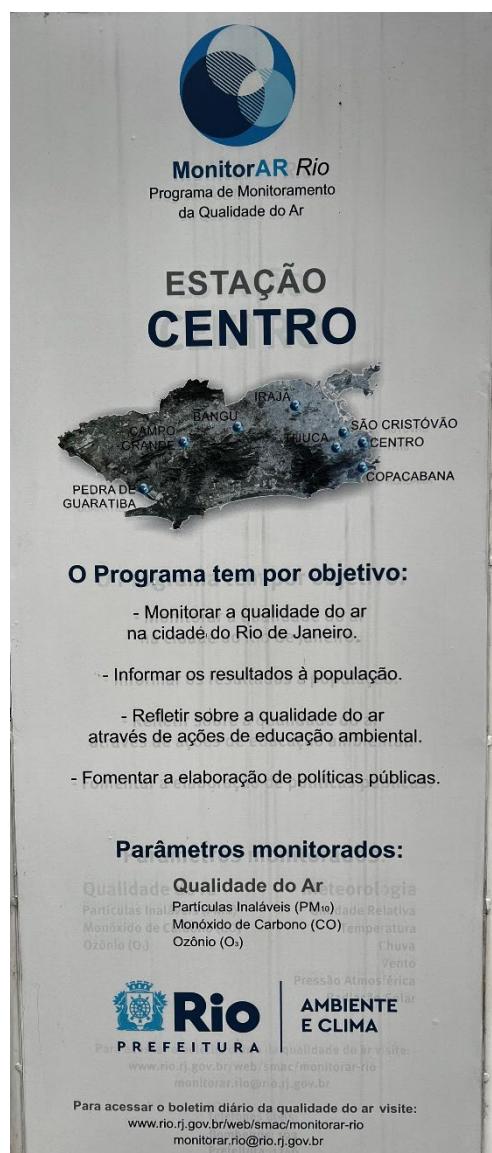


Figura 6 – Placa da estação MonitorAr Rio do bairro Centro. Fonte: O autor.

## Capítulo 3 – Estado da Arte

Neste capítulo, serão apresentadas algumas pesquisas direcionadas ao desenvolvimento e engajamento de sistemas de sensores ambientais de baixo custo, além das ferramentas utilizadas para tais desenvolvimentos com intuito acadêmico e contribuição científica.

### 3.1. Monitoramento da Qualidade do Ar na cidade de Porto Alegre

Em uma revisão da literatura sobre projetos semelhantes ao idealizado nesta pesquisa, foram encontrados diversos estudos relacionados à qualidade do ar, muitos dos quais utilizam sensores de baixo custo para monitoramento ambiental.

Silva & Peres (2017), do Instituto Federal do Rio Grande do Sul (IFRS), desenvolveram um sistema de sensores para monitoramento da qualidade do ar na cidade de Porto Alegre. O projeto utilizou uma placa Arduino Uno e comparou os sensores MQ-135 e MICS-VZ-89TE, ambos capazes de medir dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Os autores destacaram as especificações e os custos de cada sensor, conforme mostrado na Tabela 1.

Tabela 1: Comparativos entre os sensores.

	MQ-135	MICS-VZ-89TE
Valor	R\$ 20,00 (Brasil)	R\$ 240,00 (Importação)
Tempo pré-aquecimento	12 horas	15 minutos
Sinal	Analógico	Digital via I2C ( <i>Inter-Integrated Circuit</i> )
Gases	CO <sub>2</sub> , CO e NH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub> e Compostos Carbônicos Voláteis

Fonte: SILVA & PERES, 2017.

Os autores escolheram o sensor MICS-VZ-89TE para a medição de CO<sub>2</sub>, devido ao seu tempo de pré-aquecimento ideal para operação e à confiabilidade dos dados apresentados. O tempo de operação foi de 12 horas com o sistema ativo, em uma localidade com variação de fluxo de carros durante os horários de pico.

Segundo os autores, o sensor MICS demonstrou uma boa variação na detecção de gases poluentes durante o período de operação na cidade de Porto Alegre. Eles concluíram que o sensor é uma ferramenta de baixo custo eficaz para o monitoramento da qualidade do ar e para a tomada de decisões baseadas nos parâmetros registrados. Além disso, ele proporciona informações acessíveis ao público leigo. O sensor construído está representado na Figura 7.

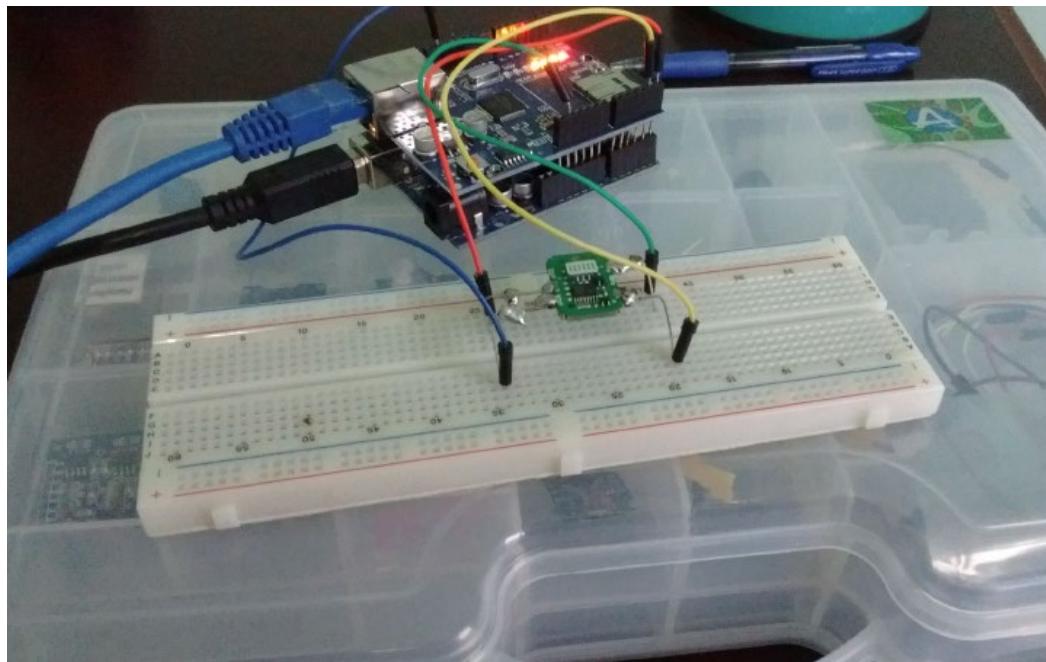


Figura 7 - Sensor MICS-VZ-89TE com placa Arduino UNO de Silva & Peres, 2017.

### 3.2. Sensoriamento de Baixo Custo para Caracterização Ambiental de Espaços Urbanos

Na tese de Araujo (2020), intitulada “Sobre a Qualidade dos Dados em Sensoriamento de Baixo Custo para Caracterização Ambiental de Espaços Urbanos”, foram utilizados sensores de baixo custo com a placa Arduino-UNO e sensores AM2302 e MQ-9, que medem temperatura/umidade relativa e monóxido de carbono, respectivamente. Em seu trabalho, Araujo apresentou outros sensores para testes de comparação, realizando uma pesquisa detalhada e colocando os sensores em funcionamento tanto em ambientes controlados quanto em ambientes externos. Além disso, sensores comerciais foram utilizados como referência para os resultados.

A Figura 8 mostra os sensores de temperatura e umidade relativa conectados ao microcontrolador Arduino Uno. Em seguida, a Tabela 2 apresenta o nome de cada sensor climático e a grandeza monitorada.

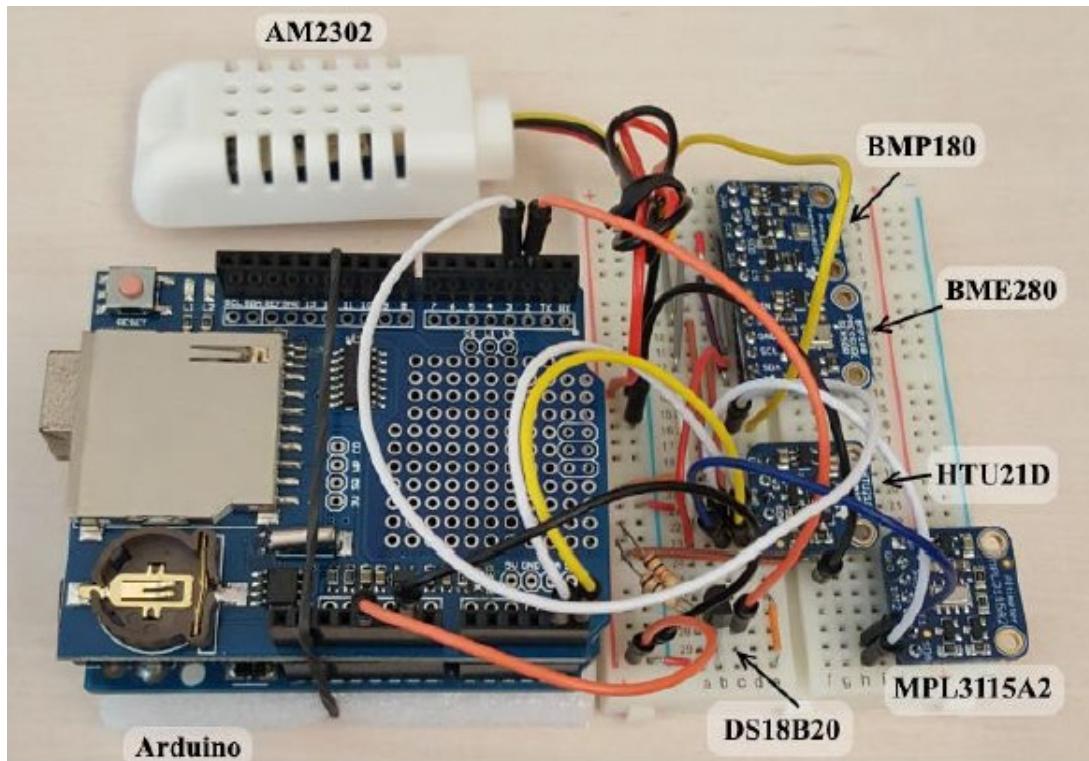


Figura 8 - Sensor de Umidade e Temperatura conectados ao Arduino de Araujo, 2020.

Tabela 2: Sensores climáticos utilizados na tese de Araujo, 2020. (T – Temperatura; H – Umidade; P – Pressão Atmosférica).

Sensor	Grandezas		
	T	H	P
DS18B20	✓	-	-
AM2302	✓	✓	-
HTU21D	✓	✓	-
MPL3115A2	✓	-	✓
BMP180	✓	-	✓
BME280	✓	✓	✓

A Figura 9 apresenta a conexão dos sensores de qualidade do ar MQ-9 ao Arduino.

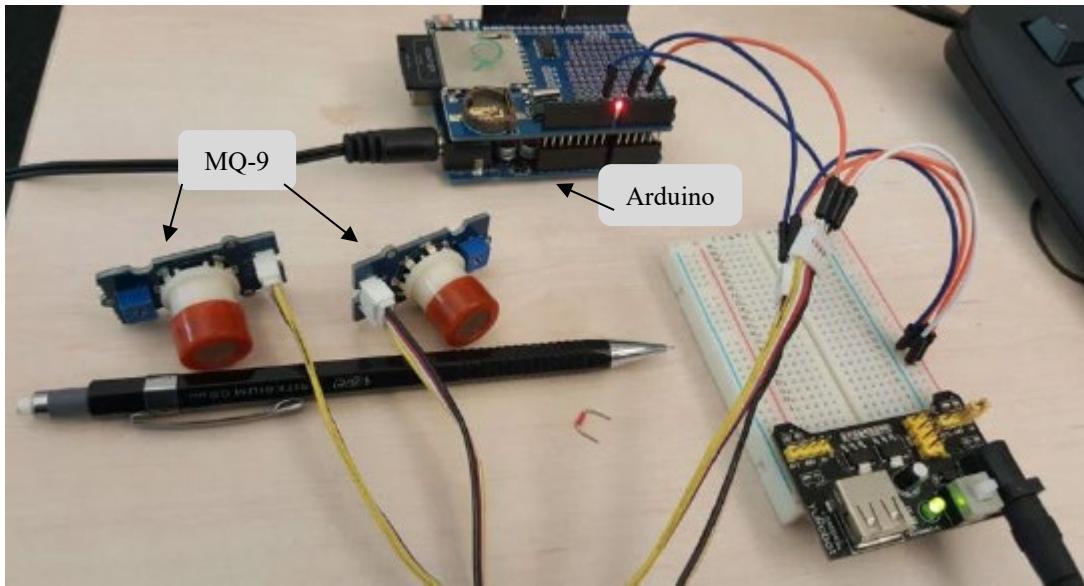


Figura 9 – Sensores MQ-9 conectados ao Arduino de Araujo, 2020.

O autor destaca que os resultados obtidos foram bastante satisfatórios, assim como o custo de construção e operacionalização foram baixos. No entanto, ele ressalta a necessidade de um estudo mais aprofundado em relação à confiabilidade e precisão dos sensores, uma vez que o experimento foi realizado em 2016.

### 3.3. CanAirIO

O CanAirIO (Somos Aire, 2020; Nugent, 2021) é uma rede cidadã para monitoramento da qualidade do ar, funcionando como um projeto de ciência cidadã que utiliza sensores estáticos e móveis para a mensuração da qualidade do ar por meio de telefones celulares e tecnologia de baixo custo.

Com sede na Colômbia, o projeto visa construir um mapeamento da qualidade do ar para compreender o tipo de ar que as pessoas estão respirando e como podem melhorar sua qualidade de vida. Os desenvolvedores disponibilizam em seu sítio eletrônico um aplicativo para ser utilizado no telefone celular, permitindo que os cidadãos contribuam para o monitoramento e mapeamento da qualidade do ar. Além disso, há um vasto material, incluindo vídeos e tutoriais, que orientam na confecção de dispositivos de monitoramento de qualidade do ar de baixo custo, possibilitando a geração de relatórios de monitoramento.

A Figura 10 mostra parte do projeto, que também desenvolve caixas para proteger o sistema de sensores e oferece cursos de instrução para a montagem dos dispositivos.



Figura 10 – Projeto CanAirIO.

O CanAirIO conta ainda com aplicações pré-configuradas para serem instaladas nos módulos Arduino, disponibilizando suporte e apoio para o desenvolvimento dos dispositivos e o uso da plataforma de gestão dos dados capturados.

### 3.4. Vicon SAGA

A Plataforma de Vigilância e Controle (Vicon SAGA) é um Sistema de Informação Geográfica (SIG) que opera em um ambiente *Web*, permitindo o acesso de qualquer computador conectado à internet, independentemente do sistema operacional (Windows, Linux ou Mac), através de navegadores como *Chrome*, *Firefox*, *Edge* e *Safari*. Além disso, existe uma versão para dispositivos móveis com sistema Android. Ambas as versões são *freeware*, ou seja, o acesso e uso são gratuitos.

O Vicon SAGA foi concebido há mais de duas décadas pelo geógrafo Jorge Xavier da Silva, então coordenador do extinto Laboratório de Geoprocessamento da Universidade Federal do Rio de Janeiro – LAGEOP/UFRJ. Atualmente, o desenvolvimento e aprimoramento contínuos do sistema são realizados pelo Laboratório Integrado de Geografia Física – LiGA/UFRRJ.

O principal objetivo do Vicon SAGA é registrar eventos e entidades de um ambiente em uma base georreferenciada. O sistema também oferece a elaboração de formulários customizáveis, adaptados às necessidades específicas de cada projeto, e possibilita a inserção de multimídia, como fotos, áudios e vídeos (VICON SAGA, 2007).

Devido à sua adaptabilidade e eficácia na elaboração de formulários para coleta de dados, bem como à sua versatilidade em lidar com diferentes formatos de mídia relacionados ao registro ambiental, o sistema Vicon SAGA atraiu a atenção de colaboradores de diversas áreas temáticas e regiões. Atualmente, a plataforma conta com mais de 1200 pesquisas registradas em todo o território nacional (MARINO, SILVA, MATHIAS, 2023).

O Centro de Apoio Científico em Desastres da Universidade Federal do Paraná (CENACID/UFPR) foi um dos primeiros colaboradores a adotar o Vicon SAGA. O CENACID se dedica à gestão de informações na resposta a desastres ambientais e já utilizou o sistema em diversos projetos de pesquisa e resposta a desastres, incluindo o Furacão Ivan na Ilha de Granada (2004), os deslizamentos em Angra dos Reis, Paraty e São Luís do Paraitinga (2010), as enchentes em Blumenau (2008), os deslizamentos e enchentes em Teresópolis (2011), e o terremoto de escala 7.2 no Haiti (2010), entre outros (MARINO, SILVA, MATHIAS, 2023). A Figura 11 ilustra alguns exemplos de utilização do Vicon SAGA pelo CENACID/UFPR.

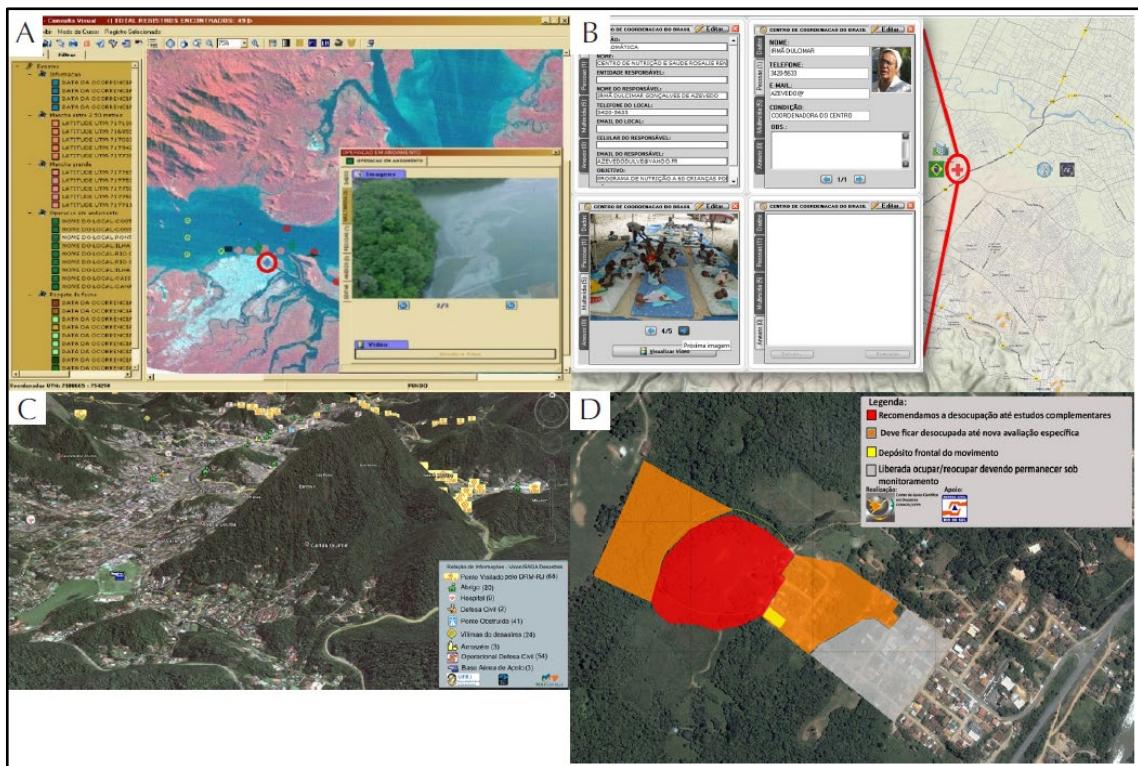


Figura 11 – Exemplos de utilização do Vicon SAGA pelo grupo CENACID/UFPR. A – Dispersão de óleo originado pela explosão do navio-tanque no Porto de Paranaguá – PR (2004); B – Terremoto de magnitude 7.1 em Porto Príncipe – Haiti (2010); C – Visão em perspectiva no Google Earth com a sobreposição dos dados cadastrados na Plataforma Vicon/SAGA durante a missão de apoio ao desastre ocorrido na Região Serrana do Rio de Janeiro (2011); D – Deslizamentos e enchentes no Vale do Itajaí (2012). Fonte: CENACID/UFPR

Andrade (2019), em sua dissertação intitulada "Sistema de Informações Geográficas Destinado ao Aprimoramento de Campanha de Vacinação Antirrábica Animal," utilizou o sistema Vicon SAGA para avaliar campanhas antirrábicas, desenvolvendo ferramentas que orientam o planejamento e a distribuição dos postos de vacinação.

Foi realizado o georreferenciamento dos postos de vacinação (fixos e itinerantes) nas campanhas entre 2017 e 2018 em Salvador-BA, utilizando o Vicon SAGA para dispositivos móveis. Em seguida, foi avaliada a relação da densidade populacional, considerando o número de cães e gatos vacinados, com o número de postos de vacinação.

Pode-se observar na Figura 12 a utilização da plataforma Vicon SAGA para o trabalho supracitado.

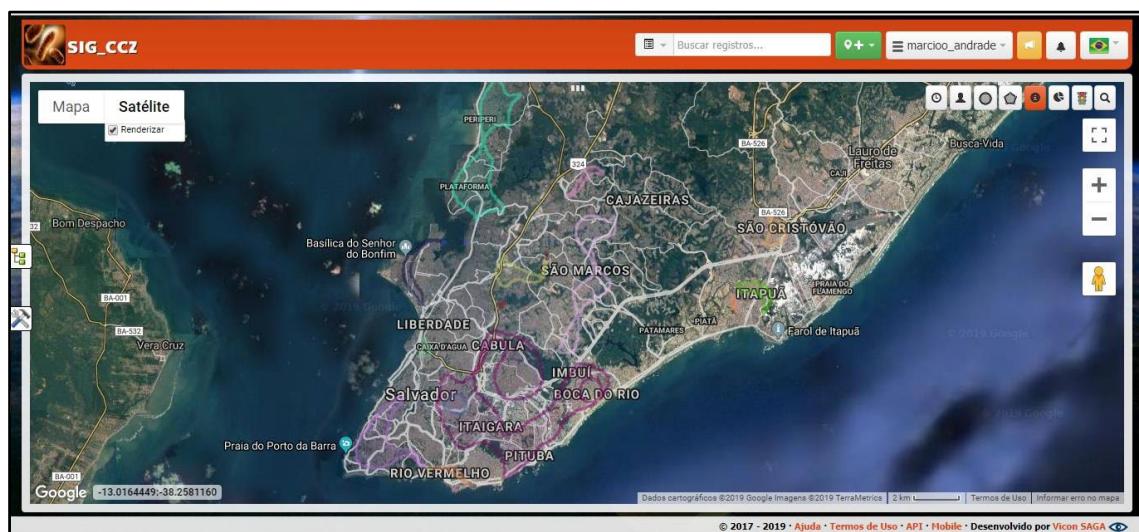


Figura 12 – Área mostrando concentração de cobertura antirrábica, utilizando a plataforma Vicon SAGA. Fonte: ANDRADE, 2019.

## Capítulo 4 – Metodologia

Este capítulo apresenta as etapas que compõem o processo desde a construção do QualiAr até sua experimentação e análise dos dados produzidos. A Figura 13 ilustra a metodologia de pesquisa e suas respectivas etapas.

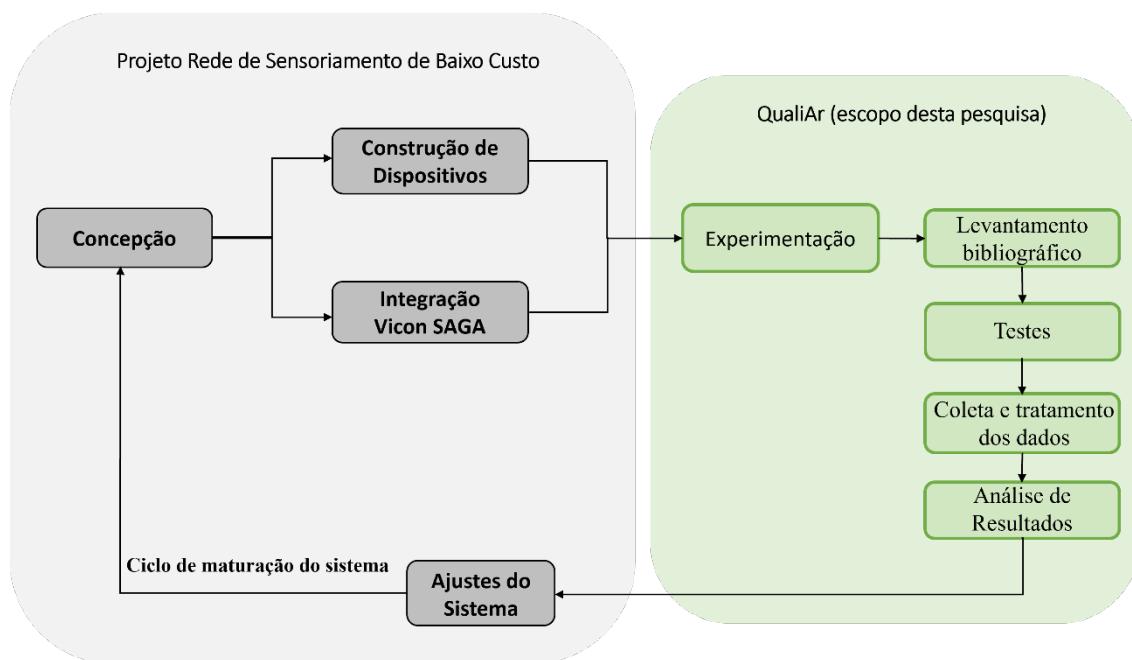


Figura 13 – Metodologia de pesquisa.

### 4.1. Concepção

O QualiAr foi concebido, construído e integrado como parte de um projeto maior intitulado "Rede de Sensoriamento de Baixo Custo para Monitoramento de Dados Hidrometeorológicos e Alertas de Inundação". Este projeto é coordenado pelo Professor Doutor Tiago Marino, com o apoio do Laboratório Integrado de Geografia Física (LiGA/UFRRJ) e da Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (AGEVAP).

Iniciado no último trimestre de 2020, o principal objetivo do projeto é desenvolver uma rede de baixo custo para o monitoramento de dados hidrometeorológicos e a geração de alertas de inundação, integrada à Plataforma Vicon SAGA. A concepção dos sistemas de monitoramento de dados ambientais foi projetada para aquisição em tempo real de dados quantitativos, utilizando sensores de custo reduzido. Além do QualiAr, o projeto inclui sistemas de sensores para outras finalidades, como *trackers* GPS e monitoramento de nível de rios.

## 4.2. Construção de Dispositivos

O QualiAr foi desenvolvido utilizando um microcontrolador Arduino, uma plataforma de prototipagem com *hardware* e *software* livres (*Open Source*), permitindo que tanto o projeto de construção quanto a programação sejam disponibilizados gratuitamente para replicação e modificação (ARDUINO, 2018).

Além da placa Arduino, os principais componentes adquiridos para o projeto incluem um módulo sensor de umidade e temperatura DHT22, um sensor de qualidade do ar MQ-135, um sensor de gás monóxido de carbono MQ-9, e peças adicionais para compor o protótipo, como um módulo *Wi-Fi*, um leitor de cartão de memória para armazenamento dos dados, um display LCD, jumpers e conexões. Cada componente será brevemente explicado nos subitens 4.2.1 a 4.2.4.

A Figura 14 apresenta o diagrama esquemático dos componentes eletrônicos mencionados e suas respectivas interconexões, representando o sistema QualiAr.

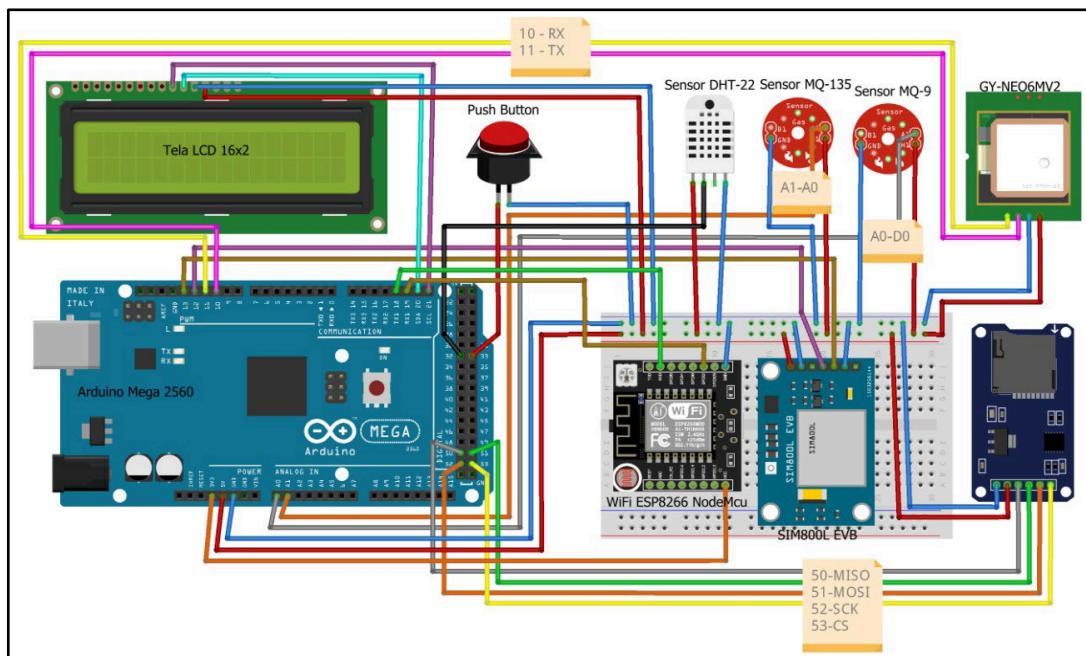


Figura 14 - Esquema eletrônico do sensor.

Como um dos objetivos do projeto é garantir que o sistema QualiAr tenha um baixo custo de produção, foi realizado um levantamento orçamentário dos componentes em diversos sítios eletrônicos, buscando adquirir os itens pelos valores mais baixos possíveis.

A Tabela 3 lista cada item adquirido para a construção do sensor, seguido pela descrição do componente. Nas colunas subsequentes, estão a quantidade, o valor unitário e o valor total, respectivamente. Os valores apresentados são referentes às pesquisas feitas em abril de 2024.

Tabela 3: Componentes do QualiAr e seus respectivos valores (em abril de 2024).

<b>Item</b>	<b>Descrição</b>	<b>Qtde</b>	<b>Valor Unit.</b>	<b>Valor Total</b>
Arduino Mega 2560	Placa microcontroladora	1	R\$ 76,90	R\$ 76,90
Módulo Wi-Fi ESP8266 - ESP-01	Conectividade sem fio	1	R\$ 16,34	R\$ 16,34
Display Lcd 16x2 1602	Tela de exibição de dados com Fundo Azul	1	R\$ 11,50	R\$ 11,50
Módulo Cartão Leitor SD	Leitor de cartão de memória para Arduino Automação	1	R\$ 8,70	R\$ 8,70
Cartão de memória Micro SD	Unidade de armazenamento de dados de 16GB	1	R\$ 15,97	R\$ 15,97
MQ-135	Sensor de Qualidade do Ar	1	R\$ 12,17	R\$ 12,17
MQ-9	Sensor de Gás Monóxido de Carbono	1	R\$ 8,03	R\$ 8,03
DHT22	Sensor de Umidade e Temperatura	1	R\$ 13,77	R\$ 13,77
Protoboard 400 Pontos	Placa para montagem de circuitos eletrônicos	1	R\$ 7,50	R\$ 7,50
Push Button R13-507	Botão para acionamento da luz do visor	1	R\$ 2,87	R\$ 2,87
Jumpers	Conexões elétricas	20	R\$ 0,25	R\$ 5,00
MDF	Material para construção da caixa protetora	1	R\$ 6,00	R\$ 6,00
<b>Total</b>				R\$ 184,75

Esta tabela apresenta uma visão geral dos componentes necessários e seus custos, facilitando o planejamento financeiro e a viabilidade do projeto. Os itens necessários para a construção do QualiAr podem ser encontrados em diversos sites eletrônicos, tanto nacionais quanto internacionais, além de lojas físicas de componentes eletrônicos.

#### 4.2.1. Sensor de temperatura e umidade DHT22

O sensor DHT22 é empregado para monitorar e medir a temperatura e umidade do ambiente. Ele é capaz de realizar leituras de temperatura no intervalo de -40 a +80 °C e de umidade no intervalo de 0 a 100%. O modelo deste sensor pode ser visualizado na Figura 15.



Figura 15 – Sensor de temperatura e umidade DHT22.

#### 4.2.2. Sensor MQ-135

O módulo MQ-135 é capaz de detectar gases tóxicos, como amônia ( $\text{NH}_3$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), benzeno ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ), óxido nítrico ( $\text{NO}$ ), fumaça e álcool. Ele pode operar em uma faixa de temperatura que varia de -10 °C a 70 °C. Na Figura 16, apresentam-se os dois lados da placa do sensor. De um lado, é possível observar o regulador de ajuste fino, enquanto do outro lado está o componente responsável por captar os gases.

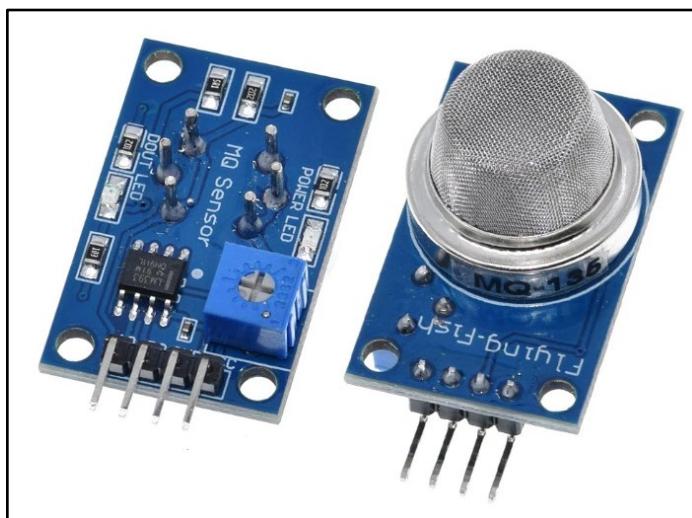


Figura 16 – Modulo MQ-135, a esquerda com o regulador de ajuste fino; e a direita o sensor externo.

#### 4.2.3. Sensor MQ-9

O módulo MQ-9 é usado para detectar monóxido de carbono (CO), metano (CH<sub>4</sub>) e propano (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>). Ele realiza essa detecção por meio do método do ciclo de temperatura alta e baixa. Quando operando a uma tensão de 1,5V, ele detecta monóxido de carbono, enquanto a uma tensão de 5V, ele detecta outros gases. Na Figura 17, apresentam-se detalhes do sensor MQ-9.

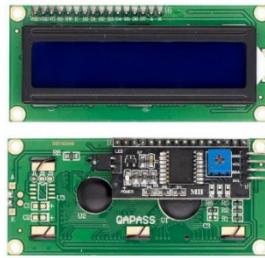


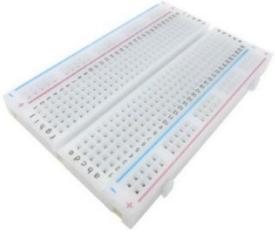
Figura 17 – Módulo MQ-9 a esquerda com o regulador de ajuste fino; e a direita o sensor externo.

#### 4.2.4. Demais componentes

O Quadro 2 apresenta uma representação visual dos componentes empregados na montagem do sistema de sensores QualiAr, acompanhados de seus respectivos nomes e uma breve explicação sobre seu funcionamento.

Quadro 2: Componentes utilizados na construção do Sistema QualiAr.

Componente	Nome	Descrição
	Arduino Mega 2560	Placa de circuito com microcontrolador; gerenciamento de todo o projeto.
	Modulo Wifi	Placa para funcionamento de conexão à internet via transmissão wifi.
	Display Lcd	Visor para acompanhamento do funcionamento do protótipo.
	Módulo Cartão Leitor SD	Componente para o uso de armazenamento local de dados por meio de cartão de memória SD.
	Cartão de Memória Micro SD	Unidade para armazenamento de dados e informações.

	Protoboard 400 Pontos	Placa para conexão de todos os componentes eletrônicos sem que haja a necessidade de soldagem.
	Push Button R13	Botão acionador para acender o Display Lcd.
	Jumpers	Fios de interconexão entre os componentes na placa Protoboard.

Fonte: O autor.

#### 4.2.5. Montagem do QualiAr

Após a disposição dos componentes para o QualiAr, procedeu-se à montagem conforme o esquema elétrico ilustrado na Figura 14, do subitem 4.2. A Figura 18 apresenta a parte externa do QualiAr, destacando o display, o botão de controle do visor e os três sensores (MQ-9, MQ-135 e DTH22) dispostos sequencialmente. Em seguida, a Figura 19 exibe a parte interna do QualiAr, evidenciando suas conexões e todos os componentes empregados na construção do dispositivo



Figura 18- QualiAr mostrando display, botão e os 3 sensores.

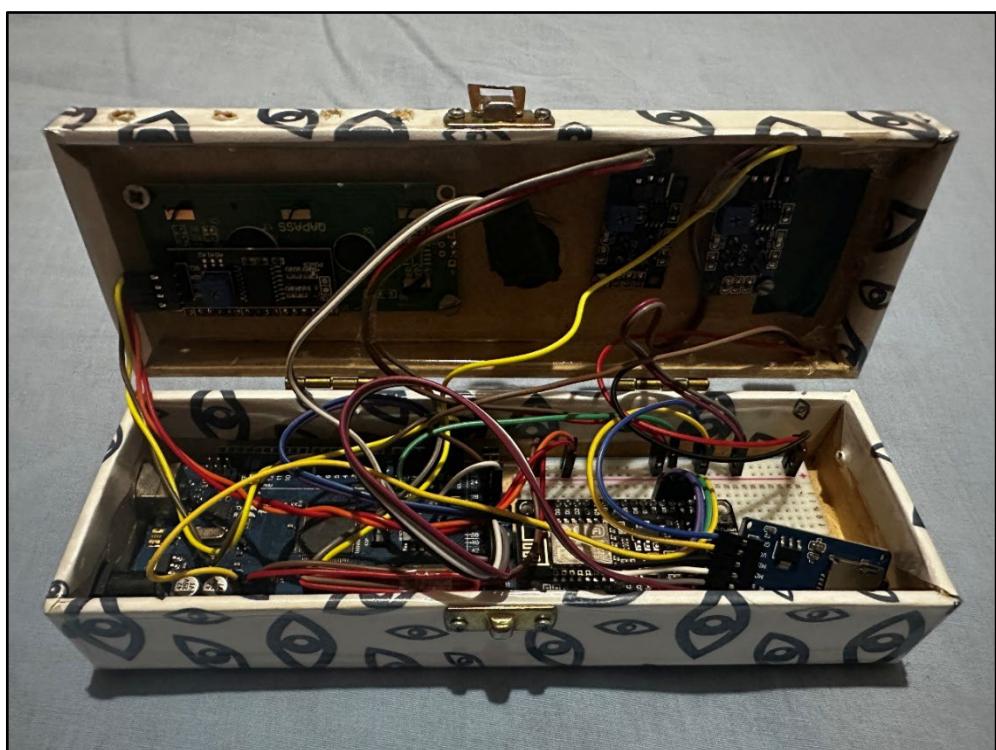


Figura 19- Parte interna do QualiAr.

Inicialmente, a caixa destinada a abrigar o projeto eletrônico foi confeccionada em MDF (madeira) como um protótipo, sujeita a aprimoramentos futuros. No início de 2023, o graduando Allan Henrique, em colaboração com o Prof. Tiago Marino, deu início ao desenvolvimento de caixas mais apropriadas para os Sistemas de Sensores, empregando uma impressora 3D e utilizando material de caixa em plástico PLA (sigla em inglês para Poliácido

Láctico). Este projeto permanece em fase experimental, mas tem demonstrado resultados promissores.

#### 4.2.6. Módulo de Alimentação Elétrica por Energia Solar

Com o intuito de garantir uma boa autonomia ao sistema de sensores e suprir suas necessidades energéticas, foi concebido um módulo de captação de energia solar. Esse módulo consiste em um painel solar de 14,5cm por 14,5cm para captação (Figura 20-a), uma bateria de 12v / 7Ah para armazenamento de energia (Figura 20-b) e um controlador de carga solar equipado com duas saídas USB-A (Figura 20-c), uma das quais pode ser conectada ao QualiAr.



Figura 20 – a) Painel Solar; b) Bateria; c) Controlador de Carga.

Assim como os componentes do sistema de sensores QualiAr, todos os elementos do módulo de alimentação podem ser facilmente encontrados em sítios eletrônicos, oferecendo uma ampla variedade de modelos e marcas. Na Tabela 4, apresenta-se o produto, a quantidade adquirida, o valor unitário e o preço total de cada item. Os valores foram pesquisados em abril de 2024.

Tabela 4: Custo do Módulo de Alimentação elétrica.

<b>Produto</b>	<b>Qtde</b>	<b>Valor Unit.</b>	<b>Valor Total</b>
Painel Solar / Placa Fotovoltaica 14,5cm X 14,5cm	1	R\$ 20,32	R\$ 20,32
Baterias 7Ah 12v Proforce	1	R\$ 68,90	R\$ 68,90
Controlador de Carga Solar	1	R\$ 15,64	R\$ 15,64
<b>Total</b>			<b>R\$ 104,86</b>

A montagem e a conexão do módulo de alimentação são simples. Embora o manual do controlador de carga seja conciso, ele fornece informações suficientes para operar o dispositivo. A Figura 21 ilustra o módulo montado e instalado dentro da caixa de MDF.

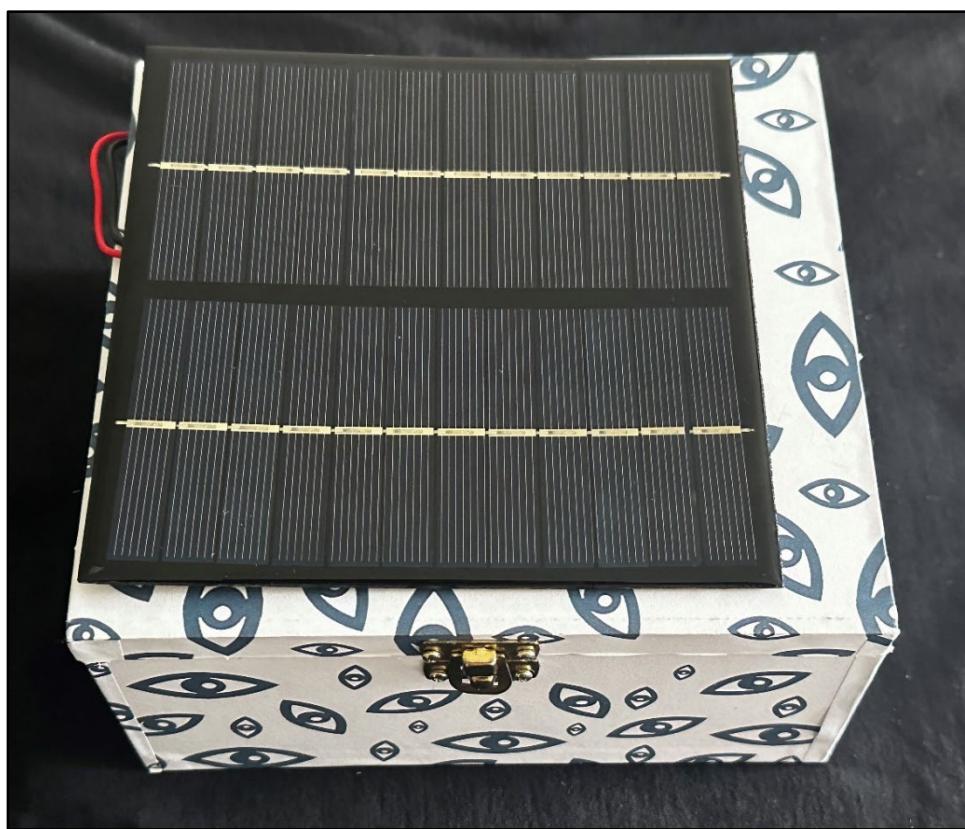


Figura 21 – Módulo de alimentação elétrica por energia solar.

### 4.3. Integração Vicon SAGA

O monitoramento ambiental em tempo real desempenha um papel crucial na gestão contemporânea do meio ambiente, fornecendo dados instantâneos e contínuos sobre uma ampla gama de parâmetros ambientais. Essa tecnologia é essencial para o acompanhamento preciso de áreas de risco, permitindo a tomada de decisões eficazes para mitigar impactos e preservar o meio ambiente.

Os sensores ambientais têm um papel fundamental na coleta de dados em tempo real. Utilizando tecnologias como WiFi ou GPRS (sigla em inglês para *General Packet Radio Service*), esses sensores transmitem as leituras realizadas para repositórios de dados *online*, facilitando o acesso e a análise por diversos usuários.

Plataformas analíticas, como a Vicon SAGA, oferecem recursos para criar regras de monitoramento e alertas. Ao identificar anomalias nos padrões normais, o sistema notifica os gestores, possibilitando uma investigação rápida e decisões ágeis.

A etapa de integração entre o QualiAr e o Vicon SAGA foi realizada no Projeto AGEVAP, durante a primeira fase do projeto, citado no subitem 4.1.

#### 4.3.1. Experimentação

O ponto de partida da presente pesquisa é iniciado na Experimentação e Avaliação do sistema de sensores. Para a primeira configuração, o funcionamento do QualiAr é acionado com o uso de um cabo USB-B para alimentação de energia conectado diretamente à rede elétrica. O dispositivo então realiza uma verificação da conexão Wi-Fi, conforme ilustrado na Figura 22-a. No entanto, uma vez que nenhuma conexão foi encontrada (Figura 22-b), o QualiAr gerou um ponto de acesso (AP – do inglês Access Point) e uma senha, possibilitando a configuração de uma conexão com a internet (Figura 22-c).



Figura 22 – QualiAr no processo de conexão ao WiFi. a) Tentando conectar a alguma rede; b) gerando um AP; c) disponibilizando nome do AP e senha para conexão.

Para conectar-se ao QualiAr, o sinal Wi-Fi denominado *Vicon-Sensors* foi localizado em um computador ou dispositivo móvel, e a senha exibida no visor foi inserida, estabelecendo assim o acesso ao dispositivo (Figura 23).

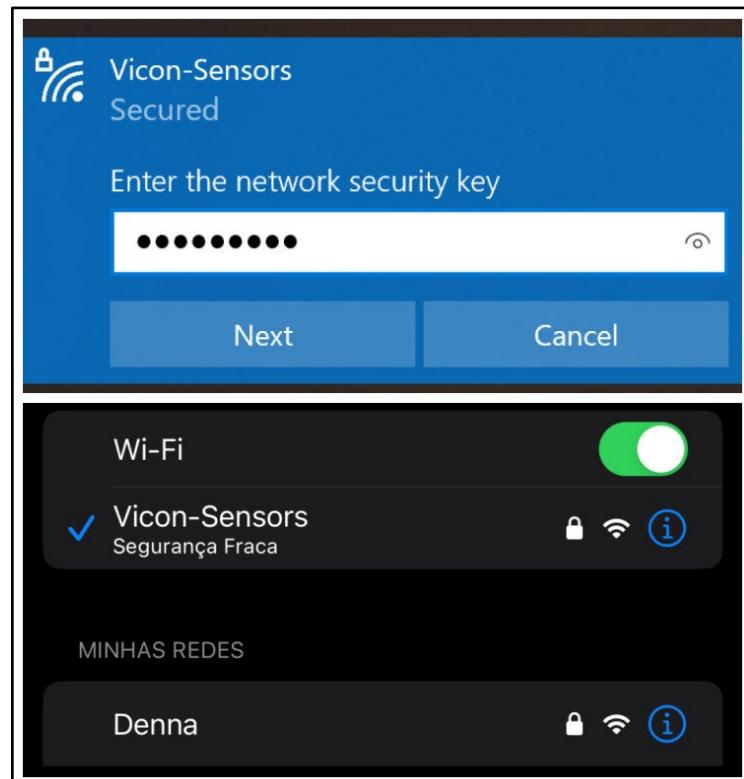


Figura 23 – Conexão ao QualiAr via AP.

Após a conexão com o QualiAr, é possível acessá-lo através do navegador de internet digitando o endereço 192.168.0.1. Neste ponto, podemos realizar a configuração da conexão Wi-Fi, que será usada para a transmissão de dados, o registro do Token do sensor para vinculá-lo à plataforma Vicon SAGA e a definição do intervalo de tempo para o envio dos dados registrados para o SIG. Este último deve ser inserido na unidade de medida de segundos (Figura 24). Após a inserção dos dados necessários, basta clicar no botão "Enviar".

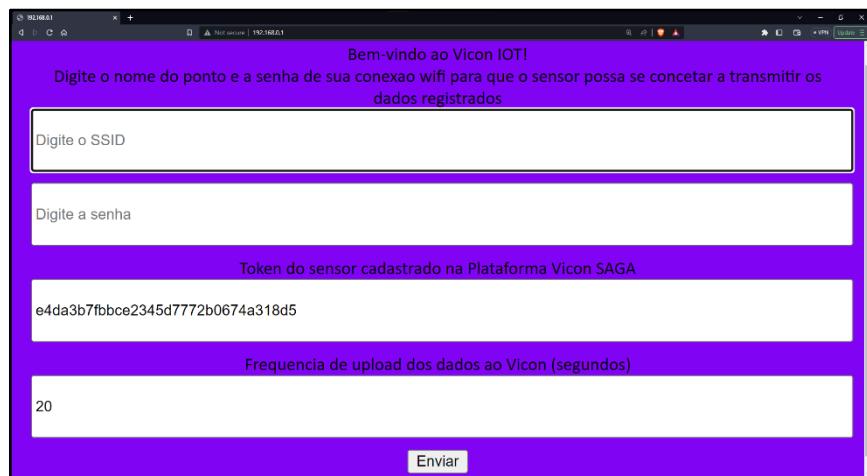


Figura 24- Acesso ao QualiAr por meio de navegador de internet.

Ao vincular o QualiAr ao Vicon SAGA, o token necessário é obtido durante a configuração do projeto SIG e o registro do sensor específico que será analisado. A permissão para realizar essa configuração e criação dependerá do nível de gerenciamento concedido ao usuário dentro da plataforma e do projeto. Dessa forma, ao adicionar um sensor, é possível escolher entre o sensor TKR-01 ou QAR-01 (*tracker* e QualiAr, respectivamente), especificar sua localização e atribuir um nome ao sensor (Figura 25).

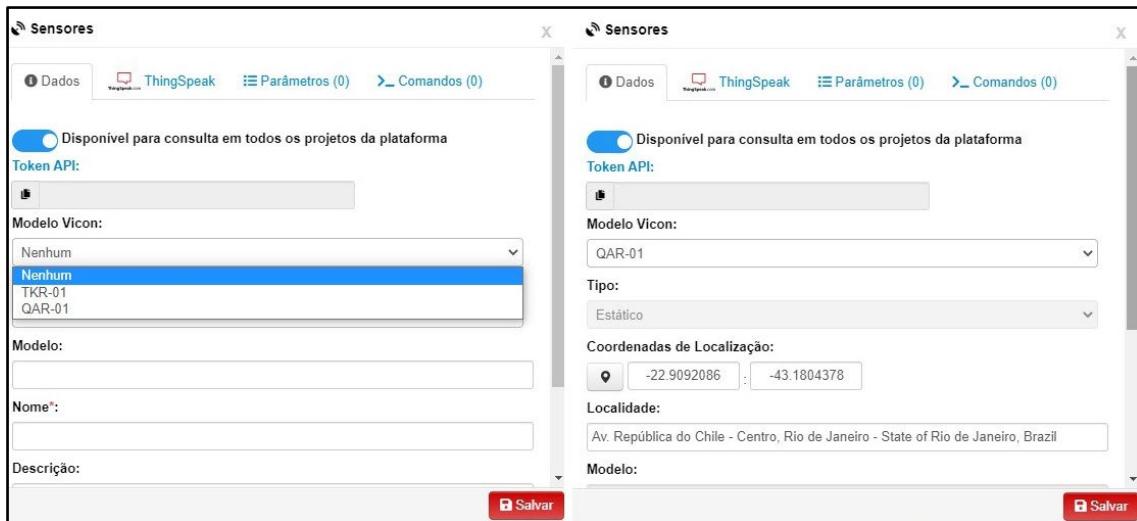


Figura 25 – Registro de sensor na plataforma Vicon SAGA.

Depois de inserir os dados corretos do sensor, é importante salvar as configurações e abrir a caixa de edição novamente. Dessa vez, um código será exibido na opção "Token API" (Figura 26). Esse código é o que deve ser inserido na tela de configuração do QualiAr (Figura 24).

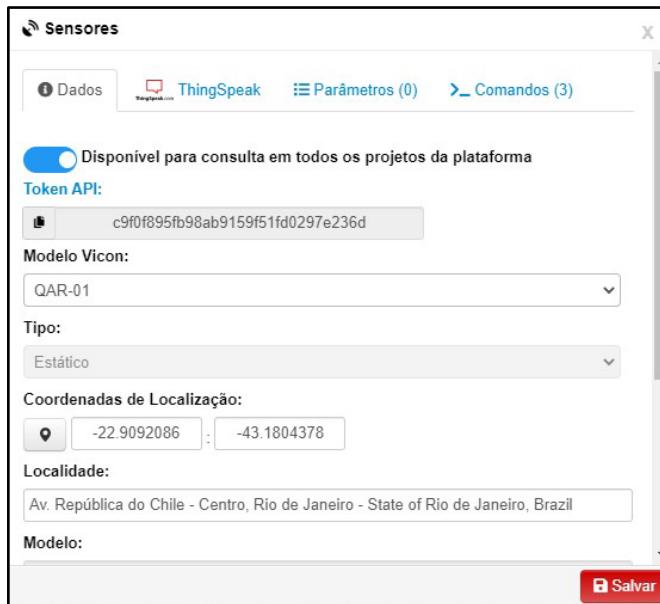


Figura 26 – Registro do sensor e destaque para o código *token API*.

Após essas configurações iniciais, é necessário desligar o QualiAr e ligá-lo novamente. As mesmas verificações mencionadas anteriormente serão realizadas, mas agora, com as informações da rede de internet devidamente registradas, a conexão será estabelecida (Figura 27), assegurando, desse modo, o envio dos dados coletados para a plataforma Vicon SAGA.



Figura 27 – Estabelecendo conexão de dados.

#### 4.3.2. Coleta e tratamento de dados

Quanto à escolha do local para a coleta de dados pelo QualiAr, foi decidido utilizar o equipamento no bairro do Centro da cidade do Rio de Janeiro, especificamente na Praça Presidente Aguirre Cerda. É importante ressaltar que neste bairro encontra-se uma estação de sensor de qualidade do ar mantida pela prefeitura, conhecida como MonitorAr-Rio, localizada na Av. Chile. A Figura 28 mostra a localização das estações da Prefeitura e em destaque a localização da Estação Centro e o local do QualiAr.



Figura 28 – Localização da estação Centro do MonitorAR-Rio e o QualiAr.

As estações do MonitorAR-Rio destacam-se pela sua robustez e pelo alto investimento necessário tanto para sua concepção quanto para sua manutenção. Conforme relatório do IEMA, em 2020, o Ministério do Meio Ambiente divulgou os resultados de um pregão eletrônico para a aquisição de estações automáticas de monitoramento, com um custo aproximado de 350 mil reais (IEMA, 2024). A Figura 29 ilustra um exemplo de estação do MonitorAR-Rio.

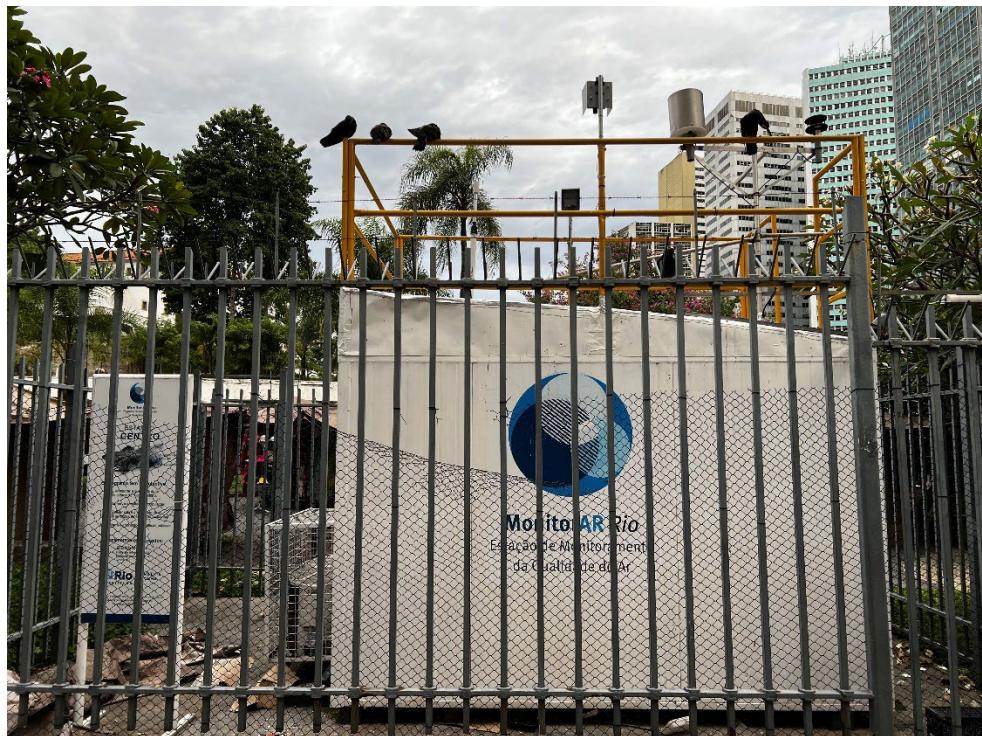


Figura 29 - Estação localizada no bairro do Centro. Fonte: O Autor.

Existem um total de 8 estações do sistema MonitorAr-Rio distribuídos pela cidade. As estações realizam monitoramento climático como temperatura, velocidade do vento, umidade relativa dentre outros parâmetros. Cada estação detecta diferentes gases poluentes, conforme visto na Tabela 5. A estação do Centro da cidade monitora os gases Material Particulado 10 (MP<sub>10</sub>), Monóxido de Carbono (CO) e Ozônio (O<sub>3</sub>).

Tabela 5: Estações MonitorAr-Rio e os respectivos gases monitorados por cada Estação.

Estação \ Poluentes	MP <sub>2.5</sub>	MP <sub>10</sub>	CO	SO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	NO <sub>x</sub>
Estação						
Bangu		✓	✓	✓	✓	✓
Campo Grande		✓	✓	✓	✓	✓
Centro		✓	✓		✓	
Copacabana		✓	✓	✓	✓	
Irajá	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Pedra de Guaratiba		✓			✓	
São Cristóvão		✓	✓	✓	✓	
Tijuca		✓	✓	✓	✓	✓

Fonte: O autor, adaptado do Relatório Diário de Qualidade do Ar do MonitorAr-Rio.

Diante desse cenário, os sensores de baixo custo surgem como uma alternativa viável para ampliar o número de locais com capacidade de monitoramento da qualidade do ar ou de outros dados ambientais. Além disso, esses sensores podem ser utilizados como ferramentas de apoio para pesquisas acadêmicas.

O QualiAr foi empregado em dias diferentes para a coleta de dados, abrangendo assim múltiplas ocasiões e condições ambientais. Os resultados obtidos foram acessados por meio da ferramenta disponível no Vicon SAGA e serão apresentados e discutidos no Capítulo 5, dedicado à análise dos resultados.

## **Capítulo 5 – Análise de Resultados**

Apresentam-se a seguir os resultados dos testes realizados com o QualiAr, acompanhados das respectivas análises.

### **5.1. Resultados**

Inicialmente, o QualiAr foi utilizado com o módulo de alimentação por energia solar. Embora tenha funcionado bem a princípio, após a descarga da bateria não foi possível utilizá-lo novamente. Ao testar o carregador, observou-se que, apesar de estar ligado, o controlador de carga não estava gerenciando o carregamento da bateria. Todas as conexões entre a placa solar, o controlador de carga e a bateria foram verificadas e refeitas, mas o problema persistiu. Ressalta-se que os testes experimentais não foram aprofundados.

Dessa forma, optou-se por utilizar o QualiAr com um carregador portátil (Power Bank). A duração da coleta de dados foi diretamente relacionada à capacidade da fonte de energia, sendo o carregador portátil com capacidade de 16.000 mAh (miliampere-hora), permitindo uma autonomia de aproximadamente 7 horas, considerando o consumo de energia do QualiAr.

Ressalta-se que a utilização do módulo de alimentação elétrica por energia solar ou do carregador portátil permite transportar o QualiAr para diferentes locais, possibilitando a realização de análises da qualidade do ar em diversos locais.

Na Tabela 6, a seguir, são apresentados os principais gases previamente mencionados e seus respectivos níveis de qualidade, conforme estabelecido pela Resolução CONAMA 491/2018. Esses valores servem como referência para o monitoramento dos poluentes e atuam como alertas para a implementação de medidas de prevenção e controle.

Tabela 6: Índice de qualidade do ar.

Qualidade do Ar	Índice	MP <sub>10</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 24h	MP <sub>2,5</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 24h	O <sub>3</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 8h	CO (ppm) 8h	NO <sub>2</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 1h	SO <sub>2</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 24h
N1 - Boa	0 - 40	0 - 50	0 - 25	0 - 100	0 - 9	0 - 200	0 - 20
N2 - Moderada	41 - 80	>50 - 100	>25 - 50	>100 - 130	>9 - 11	>200 - 240	>20 - 40
N3 - Ruim	81 - 120	>100 - 150	>50 - 75	>130 - 160	>11 - 13	>240 - 320	>40 - 365
N4 - Muito Ruim	121 - 200	>150 - 250	>75 - 125	>160 - 200	>13 - 15	>320 - 1130	>365 - 800
N5 - Péssima	201 - 400	>250 - 600	>125 - 300	>200 - 800	>15 - 50	>1130 - 3750	>800 - 2620

Fonte: Cetesb, 2019.

O Índice de Qualidade do Ar (IQA) possui seus parâmetros e variáveis definidos conforme o Anexo IV da Resolução CONAMA 491/2018, como demonstrado na Equação 1.

$$IQA = I_{ini} + \frac{I_{fin} - I_{ini}}{C_{fin} - C_{ini}} \times (C - C_{ini})$$

Equação 1 – Expressão para resultado do Índice de Qualidade do Ar.

Onde temos:

I<sub>ini</sub> = valor do índice que corresponde à concentração inicial da faixa.

I<sub>fin</sub> = valor do índice que corresponde à concentração final da faixa.

C<sub>ini</sub> = concentração inicial da faixa onde se localiza a concentração medida.

C<sub>fin</sub> = concentração final da faixa onde se localiza a concentração medida.

C = concentração medida do poluente.

Realizou-se um teste com o QualiAr próximo ao cano de descarga de um veículo para observar a variação dos sensores quando expostos à emissão direta de gases poluentes (Figura 30).



Figura 30 – Teste do QualiAr próximo ao cano de descarga veicular.

No experimento, o QualiAr foi posicionado próximo ao cano de descarga de um carro em funcionamento para monitorar a emissão de gases poluentes. Os sensores MQ-9 (responsável pela detecção de monóxido de carbono (CO) e gases combustíveis) e MQ-135 (responsável pela detecção de gases como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e óxidos de nitrogênio (NO), entre outros) foram utilizados e tiveram seu funcionamento validados. Durante a operação do veículo, ambos os sensores registraram variações significativas em suas leituras quando estavam próximos à saída do escapamento. A medição do sensor de monóxido de carbono aumentou, confirmando sua sensibilidade para esse gás. Houve também alteração nas leituras do sensor de qualidade do ar, demonstrando sua capacidade de detectar gases como amônia (NH<sub>3</sub>) e óxidos de nitrogênio (NO). A Figura 31 mostra as leituras dos sensores e uma variação durante o monitoramento.



Figura 31 – Visor do QualiAr mostrando a variação de aferição dos sensores.

Na Tabela 7 , é apresentada uma amostra dos resultados obtidos pelo QualiAr em 8 de junho de 2022 utilizado na localidade mostrado na Figura 28 (página 38). A tabela inicia com a coluna de Data e Hora, seguida pelas colunas dos dados coletados por cada sensor na seguinte ordem: MQ-135 registrando Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>); MQ-9 detectando Monóxido de Carbono (CO); DHT22 mensurando Temperatura (°C) e Umidade Relativa (hum %).

Tabela 7: Resultados datado em 08/06/2022.

<b>Data hora</b>	<b>MQ-135</b>	<b>MQ-9</b>	<b>DTH22 (temp °C)</b>	<b>DTH22 (hum %)</b>
08/06/2022 03:44	333	496	27	75
08/06/2022 03:45	334	521	27	75
08/06/2022 03:46	308	502	27	75
08/06/2022 03:47	291	492	27	75
08/06/2022 03:48	271	451	27	75
08/06/2022 03:49	260	443	27	75
08/06/2022 03:50	257	440	27	75
08/06/2022 03:51	254	436	26,6	74
08/06/2022 03:52	253	437	26,6	74
08/06/2022 03:53	261	449	26,6	74
08/06/2022 03:54	259	447	26,6	74
08/06/2022 03:55	265	454	26,7	74
08/06/2022 03:56	252	441	26,7	74
08/06/2022 03:57	252	439	26,7	74

Os resultados obtidos para este dia incluem dados adicionais dispostos no Anexo I. O intervalo de coleta foi estabelecido para cada 20 segundos, como teste inicial. Observou-se que esse intervalo era curto, mas adequado para o tempo de detecção de aproximadamente 6 horas.

A Figura 32 exemplifica o funcionamento do QualiAr: na primeira linha do visor, lê-se a temperatura e a umidade registradas pelo sensor DHT-22; na segunda linha, encontram-se as leituras dos sensores MQ-135 e MQ-9, respectivamente.



Figura 32 – QualiAr em funcionamento, sensor DHT22 para temperatura e umidade. Q135 e Q9 são os sensores MQ-135 e MQ-9, respectivamente.

Os dados dos sensores MQ-135 e MQ-9 mostrados necessitam serem calculados utilizando a Equação 1 (página 54) para comparação com a Tabela 6 (página 54) de referência do IQAr, uma vez que é necessário realizar a coleta de dados por um período maior, como por exemplo 24 ou 48 horas.

Para validar os parâmetros de umidade e temperatura medidos pelo QualiAr, foi utilizado como referência um termo-higrômetro modelo MTH-1300, do fabricante Minipa, que possui precisão de 5% para umidade relativa e 1°C para temperatura. A leitura da umidade é exibida na linha superior do visor, enquanto a temperatura aparece na linha inferior.

A Figura 33 ilustra ambos os aparelhos em funcionamento. Os valores de temperatura medidos pelo QualiAr e pelo termo-higrômetro foram muito próximos, variando entre 0,5 °C e 1,0 °C. No entanto, em relação à umidade, observou-se uma variação significativa entre as leituras dos dois dispositivos, com diferenças de 18% a 30%

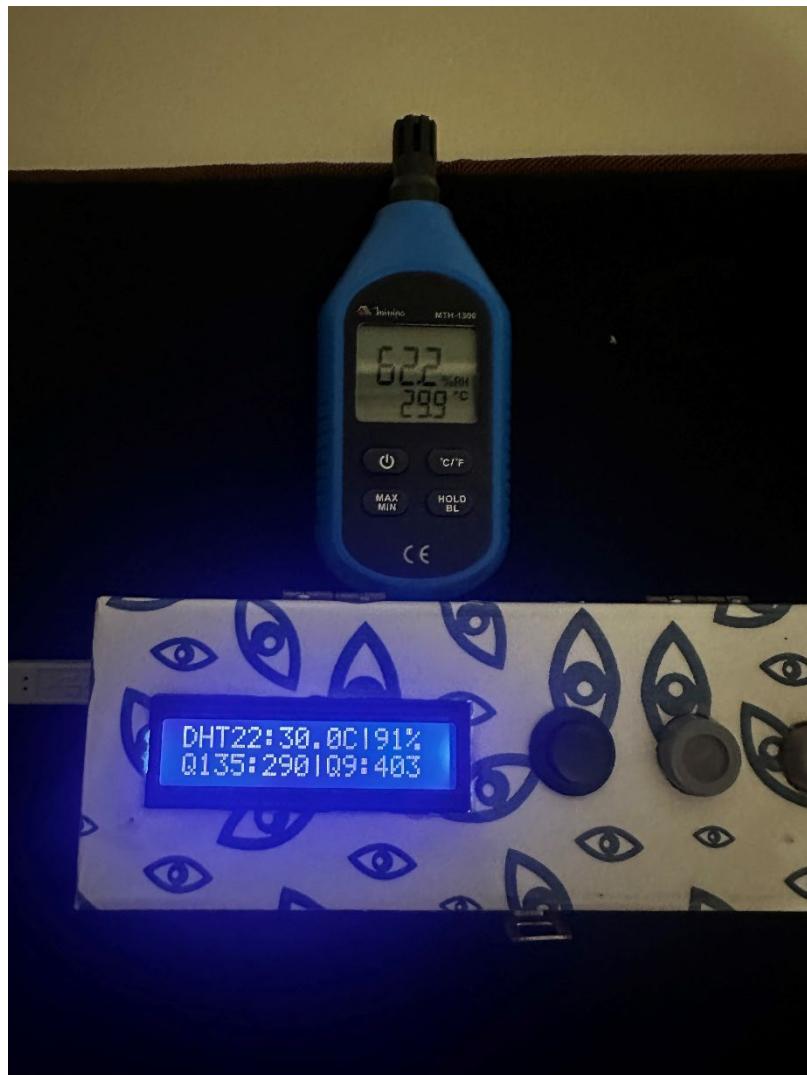


Figura 33 – Comparação de temperatura e umidade do QualiAr com um Termo-higrômetro, mostrando o sensor DHT22. Na primeira linha, lê-se a umidade relativa (62.2%), e na segunda linha, a temperatura (29.9°C).

Enquanto o QualiAr estiver conectado à rede Wi-Fi, é possível monitorá-lo remotamente pelo Vicon SAGA no projeto ao qual está registrado. O status do sensor será indicado por um sinal verde, mostrando que o dispositivo está ligado e conectado. Esse acompanhamento pode ser realizado de forma remota e em tempo real, conforme ilustrado na Figura 34.

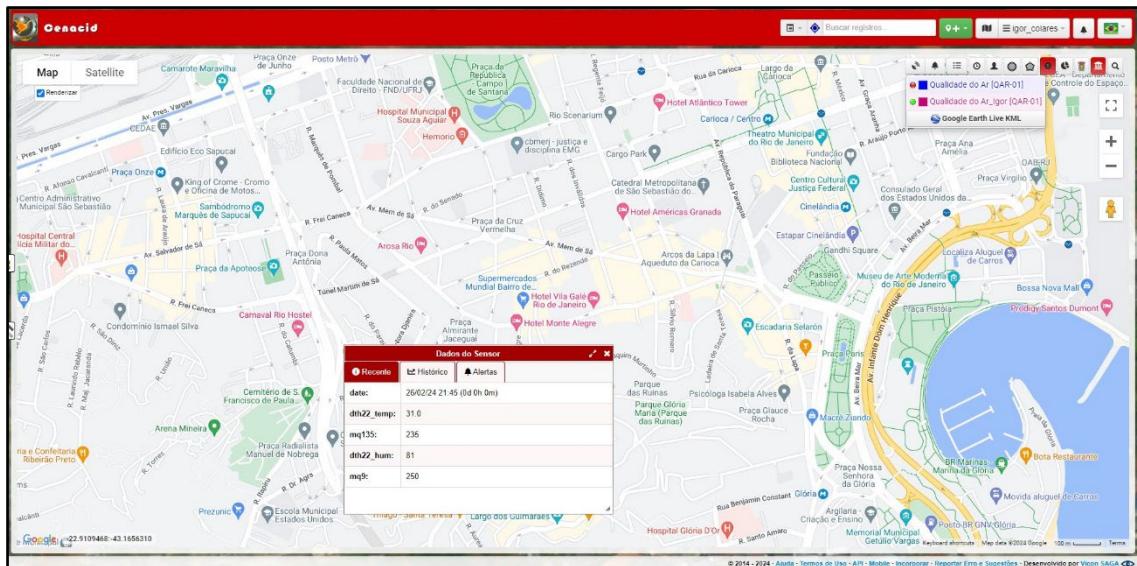


Figura 34 – Vicon SAGA registrando os dados do QualiAr.

## Capítulo 6 – Conclusão e Recomendações

Os resultados obtidos com o QualiAr foram satisfatórios. Os sensores funcionaram conforme esperado, registrando dados no intervalo determinado, e apresentaram boa durabilidade com o carregador portátil utilizado. Em busca de eficiência energética, o QualiAr possui um botão para acionar a iluminação da tela de LCD, mantendo-a desligada até ser necessária, o que contribui para a conservação da energia. Como sugestão de trabalhos futuros destaca-se a necessidade de desenvolver de forma mais apurada o sistema autônomo de alimentação elétrica.

Observou-se perda de registro de dados em determinados momentos, com o visor exibindo resultados nulos. Outro problema identificado foi com o módulo de leitor do cartão de memória, que após um período de uso, deixou de gravar os dados. A troca dos fios (*jumpers*) resolveu o problema, restabelecendo a gravação dos dados. Devido ao fato de o QualiAr ser um dispositivo móvel e utilizar conexões em protoboard com jumpers, pode ocorrer instabilidade nas interconexões. Para futuros sistemas de sensores, recomenda-se a utilização de placas de circuito impresso (PCI) para as interconexões, onde as conexões são realizadas por meio de solda. Acredita-se que esta abordagem proporcionará maior estabilidade e confiabilidade ao sistema.

Além disso, foi observado um aquecimento interno na caixa do QualiAr, o que inicialmente afetou a variação e a precisão dos sensores. Para mitigar esse problema, foram realizados furos na caixa para melhorar a circulação de ar. Recomenda-se, além do uso de placas

de circuito impresso, a adoção de caixas protetoras feitas de materiais diferentes, pois isso pode resultar em um desempenho diferente dos sensores.

Os sensores MQ-9 e MQ-135 apresentaram boa resposta em relação aos gases que se propõem detectar, mas, devido à identificação de mais de um tipo de poluente, é necessária uma calibragem mais detalhada antes de iniciar as medições pretendidas.

De modo geral, o sistema apresentou bons resultados, funcionando conforme o esperado e com um custo bastante reduzido, conforme exposto. A ferramenta Vicon SAGA mostrou-se extremamente enriquecedora para o projeto, permitindo o acesso imediato e remoto aos dados coletados, além de possibilitar a extração desses dados em planilhas no formato do software Excel.

## **Capítulo 7 - Referências Bibliográficas**

ANDRADE, Marcio de Almeida Couto. **Sistema de Informações Geográficas Destinado ao Aprimoramento de Campanha de Vacinação Antirrábica Animal.** Universidade Federal da Bahia. Disseratação. Savaldor, Bahia. 2019.

Arduino. **What is Arduino?**. Disponível em <<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>>. Acesso em: 21 maio 2021.

Araujo, Tiago Costa. **Sobre a Qualidade dos Dados em Sensoriamento de Baixo Custo para Caracterização Ambiental de Espaços Urbanos.** Universidade do Minho. Portugal, 2020.

British Broadcasting Corporation – BBC. **CO<sub>2</sub>: os gráficos que mostram que mais da metade das emissões ocorreram nos últimos 30 anos.** Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/geral-59013520>>. Acesso em: 11 de abril 2023.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 491, de 19 de novembro de 2018. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar.** Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=740>>. Acesso em: 15 maio 2021.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Guia Técnico para o monitoramento e avaliação da qualidade do ar.** Disponível em: <<https://www.gov.br/mma/pt-br/centrais-de-conteudo/mma-guia-tecnico-qualidade-do-ar-pdf>>. Acesso em: 20 maio 2021.

C40 CITIES, CLIMATE LEADSHIP GROUP. **Benefits Of Urban Climate Action. C40 Cities Technical Assistance Report,** 2019.

Carbon Brief. **Which countries are historically responsible for climate change?** Acessado em 05 de março de 2022. Disponível em: <<https://www.carbonbrief.org/analysis-which-countries-are-historically-responsible-for-climate-change/>>

CETESB. **Companhia Ambiental do Estado de São Paulo.** Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/ar/padroes-de-qualidade-do-ar/>>. Acesso em: 24 maio 2021.

DIAS, Anderson A.C.; ANDRADE NETO, Antônio V.; MILTÃO, Milton S.R.. **A Atmosfera Terrestre: Composição e Estrutura.** Caderno de física da UEFS 05 (01 e 02): 21-40. Universidade Estadual de Feira de Santana - BA, 2007.

Drumm, F.C.; Gerhardt, A.E.; Fernandes, G.D.; Chagas, P.; Sucolotti, M.S.; Kemerich, P.D.C.. **Poluição atmosférica proveniente da queima de combustíveis derivados do petróleo em veículos automotores.** Revista do Centro do Ciências Naturais e Exatas - UFSM, Santa Maria Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental – REGET e-ISSN 2236 1170 - V. 18 n. 1 Abr 2014, p. 66-78.

Felin, Bruno. **Qual o Impacto da Poluição do Ar na Saúde?.** Disponível em: <<https://wribrasil.org.br/pt/blog/2018/07/qual-o-impacto-da-poluicao-do-ar-na-saude>>. Acesso em: 19 maio 2021.

FRANCO, Marco Paulo Vianna *et al.* **Impactos Econômicos Da Proposta Brasileira na COP21: Uma Abordagem De Equilíbrio Geral Computável.** Pesquisa e Planejamento Econômico. PPE. V. 52, n° 1. Abril, 2022.

GCP – Global Carbon Project. Accessado em 23 de junho de 2021. Disponível em <<https://www.globalcarbonproject.org/index.htm>>

IBRAHIM, Asaad Khaleel. **Evolution of the Web:** from Web 1.0 to 4.0. Qubahan Academic Journal. 2021

Instituto de Energia e Meio Ambiente - IEMA. **Plataforma de Qualidade do Ar.** Disponível em: <<http://qualidadedoar.org.br/>>. Acesso em: 22 maio 2021.

Instituto de Energia e Meio Ambiente - IEMA. **Brasil precisa de no mínimo mais 46 estações de monitoramento da qualidade do ar, aponta estudo do IEMA** <https://energiaeambiente.org.br/brasil-precisa-de-no-minimo-mais-46-estacoes-de-monitoramento-da-qualidade-do-ar-aponta-estudo-do-iema-20240227> Acesso em: 29 de fevereiro 2024.

Instituto Estadual do Ambiente – INEA. **Relatório de Qualidade do Ar do Estado do Rio de Janeiro Ano Base 2018.** Gerência de Qualidade do Ar (GEAR). Diretoria de Segurança Hídrica e Qualidade Ambiental (DISEQ). Rio de Janeiro, novembro, 2020.

MARINO, Tiago B.; SILVA, Jorge X.; MATHIAS, Maria A. S.. **Plataforma Vicon SAGA: Um Instrumento de Apoio ao Mapeamento Colaborativo.** Espaço Aberto, PPGG - UFRJ, Rio de Janeiro, V. 13, N.2, p.121-139, 2023.

Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Guia técnico para o monitoramento e avaliação da qualidade do ar.** Secretaria de Qualidade Ambiental. Departamento de Qualidade Ambiental e Gestão de Resíduos. – Brasília, DF: MMA, 2020. 136 p. : il. color.

NOBRE, Moacyr Roberto Cucê. **Qualidade de Vida.** Instituto do Coração do Hospital das Clínicas – FMUSP, 1995.

Nugent, J. (2021). **Air quality science for all.** The Science Teacher, 1–2.

O Globo, 2013. **Como Respirar Melhor os Ares Cariocas.** Imagem da Estação MonitorAr Rio publicada em 28 de janeiro de 2013 e disponível em: <<https://oglobo.globo.com/rio/como-respirar-melhor-os-ares-cariocas-7417389>>. Acesso em: 12 setembro 2021.

PIMENTEL, Mariano; FUKS, Hugo. **Sistemas Colaborativos.** Editora Campus.

Rio de Janeiro. Secretaria Municipal de Meio Ambiente da Cidade. **MonitorarAr-Rio.** Disponível em: <<https://www.rio.rj.gov.br/web/smac/monitorar-rio1>>. Acesso em: 23 maio 2021.

SEEG - Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa. Observatório do Clima. Reportagem sob título **COP27: gráficos que mostram piora do Brasil em desmatamento, queimadas e emissões de CO<sub>2</sub>,** emitida no endereço eletrônico < <https://g1.globo.com/meio-ambiente/cop-27/noticia/2022/11/15/cop27-3-graficos-que-mostram-piora-do-brasil-em-desmatamento-queimadas-e-emissoes-de-co2.ghtml> > em 15 de junho de 2023.

Silva, R.C. & Peres, A. **Rede de Sensores de Baixo Custo para Monitoramento da Qualidade do Ar na Cidade de Porto Alegre.** Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS), 2017.

Somos Aire. (2020). **CanAirIO air quality sensor.** Disponível em: < <https://canair.io/> >. Acesso em 18 de novembro de 2022.

United Nations Development Programme. **Sustainable development goals. The SDGs in Action.** Disponível em: < <https://www.undp.org/sustainable-development-goals>>. Acesso em 11 de abril de 2023.

Vicon SAGA. Descrição disponível na página da aplicação. Disponível em: <<https://viconsaga.com.br/site/home>>. Acesso em: 21 maio 2021.

WHO Global Air Quality Guidelines. **Particulate Matter (PM 2.5 and PM 10), Ozone, Nitrogen Dioxide, Sulfur Dioxide and Carbon Monoxide.** Geneva: World Health Organization; 2021. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

ZEDNIK, Herik; SALES Selma Bessa; HARVEY, Myrcea Santiago dos Santos. **Internet das Coisas (IoT) e seu Influxo na Educação 3.0 das Gerações Z e Alpha.** VI Congresso Nacional de Educação. 2019

## **ANEXOS**

Anexo I – Dados QualiAr coletados em oito de junho de 2022.

<b>Date</b>	<b>MQ-135</b>	<b>MQ-9</b>	<b>dth22_temp</b>	<b>dth22_hum</b>
08/06/2022 03:44	333	496	26,8	75
08/06/2022 03:45	366	546	26,8	75
08/06/2022 03:45	336	520	26,6	75
08/06/2022 03:45	334	521	26,6	75
08/06/2022 03:46	308	502	26,5	75
08/06/2022 03:46	304	504	26,5	75
08/06/2022 03:47	291	492	26,5	75
08/06/2022 03:47	262	446	26,5	75
08/06/2022 03:48	271	451	26,5	75
08/06/2022 03:48	262	445	26,5	75
08/06/2022 03:49	260	443	26,5	75
08/06/2022 03:49	259	441	26,5	75
08/06/2022 03:50	257	440	26,6	75
08/06/2022 03:50	257	441	26,6	75
08/06/2022 03:51	259	441	26,6	74
08/06/2022 03:51	254	436	26,6	74
08/06/2022 03:52	253	437	26,6	74
08/06/2022 03:52	259	447	26,6	74
08/06/2022 03:53	260	447	26,6	74
08/06/2022 03:53	261	449	26,6	74
08/06/2022 03:54	259	447	26,6	74
08/06/2022 03:54	257	446	26,6	74
08/06/2022 03:55	256	443	26,7	74
08/06/2022 03:55	265	454	26,7	74
08/06/2022 03:56	252	441	26,7	74
08/06/2022 03:56	252	439	26,7	74
08/06/2022 03:57	253	439	26,7	74
08/06/2022 03:57	252	439	26,7	74
08/06/2022 03:58	251	437	26,7	74
08/06/2022 03:58	251	439	26,7	74
08/06/2022 03:59	249	434	26,7	74
08/06/2022 03:59	250	436	26,7	74
08/06/2022 03:59	259	444	26,6	74
08/06/2022 04:00	248	435	26,7	74
08/06/2022 04:00	256	440	26,7	74
08/06/2022 04:01	256	439	26,6	74
08/06/2022 04:01	245	432	26,6	74
08/06/2022 04:02	245	430	26,7	74
08/06/2022 04:02	243	430	26,7	74
08/06/2022 04:03	243	428	26,7	74

08/06/2022 04:03	243	430	26,7	74
08/06/2022 04:04	243	430	26,7	74
08/06/2022 04:04	254	436	26,7	74
08/06/2022 04:05	241	432	26,6	74
08/06/2022 04:05	241	430	26,6	null
08/06/2022 04:06	241	429	26,6	null
08/06/2022 04:06	239	428	26,6	null
08/06/2022 04:07	248	434	26,5	null
08/06/2022 04:07	238	425	26,5	null
08/06/2022 04:08	236	423	26,5	null
08/06/2022 04:08	248	431	26,5	null
08/06/2022 04:09	237	421	26,5	null
08/06/2022 04:09	236	422	26,5	74
08/06/2022 04:10	234	420	26,5	74
08/06/2022 04:10	244	427	26,4	74
08/06/2022 04:10	227	407	26,3	74
08/06/2022 04:11	227	408	26,3	74
08/06/2022 04:11	234	419	26,4	74
08/06/2022 04:12	233	418	26,4	74
08/06/2022 04:12	225	404	26,4	74
08/06/2022 04:13	222	404	26,5	74
08/06/2022 04:13	223	403	26,5	74
08/06/2022 04:14	233	417	26,5	74
08/06/2022 04:14	232	415	26,5	74
08/06/2022 04:15	241	421	26,5	74
08/06/2022 04:15	241	422	26,5	74
08/06/2022 04:16	231	415	26,5	74
08/06/2022 04:16	229	413	26,5	74
08/06/2022 04:17	229	413	26,5	74
08/06/2022 04:17	229	413	26,5	74
08/06/2022 04:18	229	414	26,5	74
08/06/2022 04:18	228	410	26,5	74
08/06/2022 04:19	227	410	26,5	74
08/06/2022 04:19	227	413	26,5	74
08/06/2022 04:20	227	412	26,4	74
08/06/2022 04:20	227	411	26,4	74
08/06/2022 04:21	237	419	26,4	73
08/06/2022 04:21	226	409	26,4	74
08/06/2022 04:21	226	409	26,4	74
08/06/2022 04:22	225	407	26,4	74
08/06/2022 04:22	238	414	26,5	74
08/06/2022 04:23	237	414	26,4	74
08/06/2022 04:23	224	401	26,5	74
08/06/2022 04:24	226	406	26,4	74
08/06/2022 04:24	226	405	26,4	74

08/06/2022 04:25	226	406	26,4	74
08/06/2022 04:25	225	405	26,4	74
08/06/2022 04:26	225	404	26,4	74
08/06/2022 04:26	236	411	26,4	74
08/06/2022 04:27	226	408	26,4	74
08/06/2022 04:27	225	407	26,5	74
08/06/2022 04:28	224	407	26,5	74
08/06/2022 04:28	223	402	26,6	73
08/06/2022 04:29	234	410	26,6	73
08/06/2022 04:29	224	402	null	null
08/06/2022 04:30	222	401	null	null
08/06/2022 04:30	223	402	null	null
08/06/2022 04:30	222	404	null	null
08/06/2022 04:31	221	404	null	null
08/06/2022 04:31	222	406	26,5	73
08/06/2022 04:32	221	404	26,5	73
08/06/2022 04:32	221	403	26,5	73
08/06/2022 04:33	220	402	26,5	73
08/06/2022 04:33	221	402	26,5	73
08/06/2022 04:34	220	400	26,5	73
08/06/2022 04:34	220	401	null	73
08/06/2022 04:35	219	400	null	73
08/06/2022 04:35	219	401	null	73
08/06/2022 04:36	219	400	null	73
08/06/2022 04:36	219	399	null	73
08/06/2022 04:37	218	403	26,5	73
08/06/2022 04:37	218	400	26,5	73
08/06/2022 04:38	218	400	26,5	73
08/06/2022 04:38	217	400	26,5	73
08/06/2022 04:39	217	399	26,5	73
08/06/2022 04:39	216	398	26,5	73
08/06/2022 04:39	216	399	26,6	73
08/06/2022 04:40	216	397	26,6	73
08/06/2022 04:40	215	396	26,6	73
08/06/2022 04:41	214	395	26,6	73
08/06/2022 04:41	214	395	26,6	73
08/06/2022 04:42	216	398	26,6	73
08/06/2022 04:42	226	406	26,6	73
08/06/2022 04:43	215	380	26,6	73
08/06/2022 04:43	215	385	26,5	73
08/06/2022 04:44	225	394	26,5	73
08/06/2022 04:44	214	389	26,5	73
08/06/2022 04:45	215	390	26,5	73
08/06/2022 04:45	214	388	26,5	73
08/06/2022 04:46	224	400	26,5	73

08/06/2022 04:46	213	394	26,6	73
08/06/2022 04:46	214	394	26,5	73
08/06/2022 04:47	224	401	26,5	73
08/06/2022 04:47	213	392	26,5	73
08/06/2022 04:48	213	391	26,5	73
08/06/2022 04:48	212	389	26,6	73
08/06/2022 04:49	212	391	26,6	73
08/06/2022 04:49	222	396	26,6	73
08/06/2022 04:50	212	389	26,6	73
08/06/2022 04:50	211	388	26,6	74
08/06/2022 04:51	222	396	26,6	74
08/06/2022 04:51	210	388	26,6	74
08/06/2022 04:52	210	387	26,6	74
08/06/2022 04:52	210	387	26,5	74
08/06/2022 04:53	209	388	26,6	74
08/06/2022 04:53	209	387	26,6	74
08/06/2022 04:54	220	396	26,5	74
08/06/2022 04:54	209	387	26,5	74
08/06/2022 04:55	220	395	26,5	74
08/06/2022 04:55	209	387	26,5	74
08/06/2022 04:55	219	393	26,6	74