

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA  
CURSO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO**

**ALEX DA SILVA SOUZA**

**AIRWORLD – UMA SOLUÇÃO TECNOLÓGICA  
PARA O MONITORAMENTO DA QUALIDADE  
DO AR EM AMBIENTES PÚBLICOS**

Itacoatiara – Amazonas

Janeiro – 2023

ALEX DA SILVA SOUZA

**AIRWORLD – UMA SOLUÇÃO TECNOLÓGICA  
PARA O MONITORAMENTO DA QUALIDADE  
DO AR EM AMBIENTES PÚBLICOS**

Monografia apresentada ao Instituto de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Federal do Amazonas como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Bacharel em Sistemas de Informação.

EDSON DE ARAÚJO SILVA

Itacoatiara – Amazonas

Janeiro – 2023

## Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

S729a Souza, Alex da Silva  
AirWorld : uma solução tecnológica para o monitoramento da  
qualidade do ar em ambientes públicos / Alex da Silva Souza . 2023  
37 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Edson de Araújo Silva  
TCC de Graduação (Sistemas de Informação) - Universidade  
Federal do Amazonas.

1. Qualidade do ar. 2. Internet das coisas. 3. Sistemas  
embarcados. 4. Computação em nuvem. I. Silva, Edson de Araújo.  
II. Universidade Federal do Amazonas III. Título



Ministério da Educação  
Universidade Federal do Amazonas  
Coordenação do Curso de Sistemas de Informação - ICET

## **FOLHA DE APROVAÇÃO**

**ALEX DA SILVA SOUZA**

### **AIRWORLD - UMA SOLUÇÃO TECNOLÓGICA PARA O MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR EM AMBIENTES PÚBLICOS**

Monografia apresentada ao Instituto de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Federal do Amazonas como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Bacharel em Sistemas de Informação.

Aprovada em 15 de fevereiro de 2023

#### **BANCA EXAMINADORA**

Prof. Dr. Edson de Araújo Silva, Presidente  
Universidade Federal do Amazonas

Prof. Dr. Rainer Xavier de Amorim, Membro  
Universidade Federal do Amazonas

Prof. Me. Adriano Honorato de Souza, Membro  
Instituto Federal do Amazonas

Folha de Aprovação assinada pela Profa. Dra. Odette Mestrinho Passos, responsável pela disciplina **Trabalho Final de Graduação** (Período: 2022.1), onde atesta a defesa do(a) aluno(a) e a presença dos membros da banca examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Odette Mestrinho Passos, Professor do Magistério Superior**, em 20/02/2023, às 19:18, conforme horário oficial de Manaus, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Edson de Araújo Silva, Professor do Magistério Superior**, em 22/02/2023, às 18:17, conforme horário oficial de Manaus, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Rainer Xavier de Amorim, Professor do Magistério Superior**, em 22/02/2023, às 18:31, conforme horário oficial de Manaus, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufam.edu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufam.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **1372285** e o código CRC **18470246**.

---

Rua Nossa Senhora do Rosário - Bairro Tiradentes nº 3836 - Telefone: (92) (92) 99318-2549  
CEP 69103-128 Itacoatiara/AM - [ccsiicet@ufam.edu.br](mailto:ccsiicet@ufam.edu.br)

---

Referência: Processo nº 23105.007757/2023-56

SEI nº 1372285

*À minha mãe e ao meu pai que foram fundamentais para a minha formação acadêmica. Aos docentes pelo apoio e ensinamentos durante o curso.*

## **AGRADECIMENTOS**

A realização deste trabalho de conclusão de curso representa um grande marco em minha vida acadêmica e profissional, e gostaria de expressar minha gratidão a todos que contribuíram para torná-lo possível. Especialmente, agradeço aos meus familiares pelo apoio incondicional e incentivo ao longo de toda a minha jornada acadêmica.

Agradeço também aos docentes, pelos ensinamentos durante o curso. Gostaria de estender minha gratidão à professora Odette Mestrinho Passos pelo auxílio e revisão do trabalho, e ao meu orientador/professor, Edson de Araújo Silva, pela orientação e pelo conhecimento compartilhado durante todo o processo de elaboração deste trabalho.

Por fim, agradeço a todas as pessoas que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, sejam elas citadas aqui ou não. Vocês fizeram a diferença em minha jornada acadêmica e profissional, e serei sempre grato por isso.

*“A mente que se abre a uma nova ideia  
jamais voltará ao seu tamanho original”*

*Albert Einstein*

# **AirWorld – Uma Solução Tecnológica para o Monitoramento da Qualidade do Ar em Ambientes Públicos**

**Alex da Silva Souza, Edson de Araújo Silva**

Instituto de Ciências Exatas e Tecnologia – Universidade Federal do Amazonas  
(ICET/UFAM) – Itacoatiara – Amazonas – Brasil

s.alex.s1515@gmail.com, edsonaraujo@ufam.edu.br

***Resumo.** A qualidade do ar não está adequada em diversos ambientes, e o monitoramento é importante para evitar efeitos negativos na saúde. As soluções atuais necessitam de grandes investimentos, além de possuírem custos elevados para manter funcionando e pessoas capacidades para o seu manuseio. Nesse sentido, o objetivo desta pesquisa é apresentar o desenvolvimento de uma solução tecnológica para informar ao usuário sobre a qualidade do ar, permitindo, entre outras coisas, a realização de atividades práticas ou lazer em ambientes públicos. A metodologia utilizada neste estudo consistiu, em uma pesquisa bibliográfica para fundamentação teórica e a fase de concepção. Em seguida, foi realizado a construção da solução tecnológica e a prototipagem da aplicação. Como resultado, após seu desenvolvimento, pode-se constatar que o mesmo atendeu as necessidades no que tange ao monitoramento da qualidade do ar.*

## **1. Introdução**

A prática de atividade física auxilia na prevenção, atua no tratamento de diversas doenças metabólicas e ajuda positivamente na capacidade funcional (COELHO, 2009; BURINI, 2009). Com o decorrer do tempo, há uma preocupação dos governantes e administradores públicos para aplicar investimentos em áreas adequadas para práticas de atividades físicas, como parques, pistas de caminhadas e academias ao ar livre. As academias ao ar livre já podem ser encontradas em diversas cidades, contribuindo com práticas de atividades físicas e melhorando a qualidade de vida da população (SANTOS, 2019; DE ARAÚJO, 2019; PACHÚ, 2019). Porém, a prática de atividades físicas ao ar livre, apresenta riscos para as pessoas devido à má qualidade do ar prejudicando à saúde, pois são expostos a altos níveis de substâncias poluentes como as emissões veiculares (OREGON, 2015).

Há diversos perigos na realização de atividades físicas em locais onde a qualidade do ar não é boa, pois pode ocorrer a inalação de dióxido de nitrogênio, um preditor mais forte de doenças cardiovasculares ou o material particulado (PM<sub>2,5</sub>) emitidos pelos veículos (CHEN et al., 2013; CAIZZO et al., 2013). A Organização Mundial da Saúde – OMS (2017) estima que a poluição do ambiente em ar livre tenha causado cerca de 4,2 milhões de mortes prematuras em todo o mundo em 2019. Quando o ar está contaminado causa diversos problemas para saúde humana e animal

(DAPPER, SPOHR e ZANINI, 2016). Então, há uma necessidade crescente em monitorar e avaliar a qualidade do ar interno e externo, especialmente quando tratamos de saúde e conforto das pessoas (ESFAHANI et al., 2020).

A solução proposta visa informar ao usuário através de um aplicativo, se o ambiente público está sem risco para a saúde, permitindo a prática de atividades físicas ou lazer. Para desenvolver a solução tecnológica realizou-se um estudo sobre sistemas de monitoramento da qualidade do ar nas bibliotecas digitais como IEEE, Capes, Scopus entre outras para bases teóricas. Em seguida, a preparação do protótipo da solução tecnológica para medir a qualidade do ar de determinado local, seguindo alguns critérios da OMS e da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETEBS para apresentar a classificação do ar.

Assim, este trabalho tem como objetivo apresentar o desenvolvimento de uma solução tecnológica que permite aos usuários a visualização dos dados sobre a qualidade do ar de forma a proporcionar melhoria na qualidade de vida da população que utiliza espaços públicos para práticas de atividades físicas ou lazer.

O artigo está organizado da seguinte maneira. A Seção 2 apresenta alguns conceitos básicos e discute os trabalhos relacionados. A Seção 3 apresenta o método de pesquisa utilizado enquanto a Seção 4 mostra os resultados e as discussões. A Seção 5 apresenta as conclusões e os trabalhos futuros.

## **2. Fundamentação Teórica**

### **2.1. Conceitos Relacionados**

#### **2.1.1 Qualidade do Ar**

A poluição do ar é a presença de grande quantidade de diversas substâncias danosas que afeta seu equilíbrio e composição, causando problemas ao meio ambiente e a população humana, fauna e flora (AZUAGA, 2000). Dentre as principais substâncias poluentes está o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), o monóxido de carbono (CO), óxido de nitrogênio (NO), dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ) e os materiais particulados (fuligens, fumaças, fragmentos metálicos dentre outros). Ainda há os poluentes derivados da volatilidade e/ou combustão de combustíveis fósseis como os compostos orgânicos voláteis (COV's) que podem participar de reações na atmosfera gerando novos poluentes (CASELLI et al., 2010).

Diante disso, a OMS (2021) estabelece algumas diretrizes globais de qualidade do ar para serem utilizados por governos nacionais, regionais e municipais melhorando a qualidade de vida dos cidadãos.

A última atualização de 2021 das diretrizes da qualidade do ar apresentou os poluentes: Material Particulado ( $\text{MP}_{2,5}$  e  $\text{MP}_{10}$ ), Ozônio ( $\text{O}_3$ ), Dióxido de Nitrogênio ( $\text{NO}_2$ ) e Dióxido de Enxofre ( $\text{SO}_2$ ) para serem monitorados sendo causadores da poluição do ar. Cada poluente apresenta um risco para saúde humana, o  $\text{MP}_{2,5}$  penetra os

pulmões, afetando o sistema cardiovascular ou o respiratório, causando doenças como acidente vascular cerebral ou câncer de pulmão. O O<sub>3</sub> ao nível do solo é formado pela reação da luz solar com óxidos de nitrogênios, causando problemas como asma ou a redução da função pulmonar. O NO<sub>2</sub> sendo a principal fonte de aerossóis de nitrato emitidos pela combustão (aquecimento, geração de energia e motores de veículos e navios, causando doenças como bronquites em crianças (OMS, 2021). Segundo a (OMS, 2021), os níveis e metas intermediárias de poluentes para medição da qualidade do ar estão descritos na Tabela 1.

**Tabela 1. Dados sobre a quantidade de poluentes do ar pela OMS**

Poluentes	Média de Tempo	2005 AQGs	2021 AQGs
PM <sub>2,5</sub> ug/m <sup>3</sup>	Anual	10	5
	24 horas	25	15
PM <sub>10</sub> ug/m <sup>3</sup>	Anual	20	15
	24 horas	50	45
O <sub>3</sub> ug/m <sup>3</sup>	Alta Temporada	-	60
	8 horas	100	100
NO <sub>2</sub> ug/m <sup>3</sup>	Anual	40	10
	24 horas	-	25
SO <sub>2</sub> ug/m <sup>3</sup>	24 horas	20	40
CO mg/m <sup>3</sup>	24 horas	-	4

Nota: Elaborado pela OMS, 2021.

Com base nas diretrizes da OMS, há outros índices estabelecidos para aferição de poluentes e definição da qualidade do ar. Há o Decreto Estadual nº 59113 de 23/04/2013 do Governo do Estado de São Paulo (Tabela 2) que estabelece que a administração da qualidade do ar no território de São Paulo será efetuada, seguindo alguns critérios:

1. Metas Intermediárias (MI): Estabelecidas como valores temporários a serem cumpridos em etapas, visando à melhoria gradativa da qualidade do ar no Estado de São Paulo, baseada na busca pela redução das emissões de fontes fixas e móveis, em linha com os princípios do desenvolvimento sustentável. Essas metas devem ser atendidas em 3 (três) etapas:
  - i. Meta Intermediária Etapa 1 (MI1): Valores de concentração de poluentes atmosféricos a serem respeitados a partir de 24/04/2013. Estes valores ficaram vigentes até 31/12/2021.
  - ii. Meta Intermediária Etapa 2 (MI2): Valores de concentração de poluentes atmosféricos que devem ser respeitados subsequentemente à MI1, que entrará em vigor após avaliações realizadas na Etapa 1, reveladas por estudos técnicos apresentados pelo órgão ambiental estadual, convalidados pelo CONSEMA. a MI2 entrou em vigor a partir de 01/01/2022 (Deliberação CONSEMA nº 4, de 19/05/2021, publicada no DOE de 26/05/2021).

- iii. Meta Intermediária Etapa 3 (MI3): Valores de concentração de poluentes atmosféricos que devem ser respeitados nos anos subsequentes à MI2, sendo que seu prazo de duração será definido pelo CONSEMA, a partir do início da sua vigência, com base nas avaliações realizadas na Etapa 2.
2. Padrões Finais (PF): Padrões determinados pelo melhor conhecimento científico considerando as menores concentrações possíveis no contexto de limitações locais, capacidade técnica e prioridades em termos de saúde pública para que a saúde da população seja preservada ao máximo em relação aos danos causados pela poluição atmosférica.

O monóxido de carbono, partículas totais em suspensão e chumbo, por exemplo, não há Metas Intermediárias sendo aplicado os Padrões Finais. Para os demais poluentes, os padrões finais passam a valer a partir do final do prazo de duração do MI3. Segundo CETESB (2023), os valores destacados na Tabela 2 são os padrões vigentes da qualidade do ar.

**Tabela 2. Dados sobre a quantidade de poluentes do ar**

Poluentes	Tempo de Amostragem	MI1 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	MI2 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	MI3 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	PF ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Partículas Inaláveis (PM <sub>10</sub> )	24 horas	120	<b>100</b>	75	50
	MAA <sup>1</sup>	40	<b>35</b>	30	20
Partículas Inaláveis Finas (PM <sub>2,5</sub> )	24 horas	60	<b>50</b>	37	25
	MAA <sup>1</sup>	20	<b>17</b>	15	10
Dióxido de Enxofre (SO <sub>2</sub> )	24 horas	60	<b>40</b>	30	20
	MAA <sup>1</sup>	40	<b>30</b>	20	-
Dióxido de Nitrogênio (NO <sub>2</sub> )	1 hora	260	<b>240</b>	220	200
	MAA <sup>1</sup>	60	<b>50</b>	45	40
Ozônio (O <sub>3</sub> )	8 horas	140	<b>130</b>	120	100
Monóxido de Carbono (CO)	8 horas	-	-	-	9ppm
Fumaça (FMC)	24 horas	120	<b>100</b>	75	50
	MAA <sup>1</sup>	40	<b>35</b>	35	20
Partículas Totais em Suspensão (PTS)	24 horas	-	-	-	240
	MGA <sup>2</sup>	-	-	-	80
Chumbo (Pb)	MAA <sup>1</sup>	-	-	-	0,5

Nota: Adaptado da CETESB, 2023.

A Tabela 2 utiliza a Média Aritmética Anual (MAA) e Média Geométrica Anual (MGA) para o tempo de amostragem. Para Fumaça e Partículas Totais em Suspensão parâmetros auxiliares a serem utilizados apenas em situações específicas, a critério da CETESB. O Chumbo deve ser monitorado apenas em áreas específicas, a critério da CETESB.

A CETESB (2023) apresenta para cada poluente um valor adimensional. Esse valor representa o Índice da Qualidade do Ar - IAQ e é calculado matematicamente. Dependendo do índice obtido, o ar recebe uma classificação, que é uma nota para qualidade do ar, além de uma representação por cor, conforme Tabela 3.

**Tabela 3. Estrutura do índice da qualidade do ar**

Qualidade	Índice	MP <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) 24h	MP <sub>2,5</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) 24h	O <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) 8h	CO (µg/m <sup>3</sup> ) 8h	NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) 1h	SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) 24h
<b>N1: Boa (Cor Verde)</b>	0 - 40	0 - 50	0 - 25	0 - 100	0 - 9	0 - 200	0 - 20
<b>N2: Moderada (Cor Amarela)</b>	41 - 80	> 50 - 100	> 25 - 50	> 100 - 130	> 9 - 11	> 200 - 240	> 20 - 40
<b>N3: Ruim (Cor Rosa Laranja)</b>	81 - 120	> 100 - 150	> 50 - 75	> 130 - 160	> 11 - 13	> 240 - 320	> 40 - 365
<b>N4: Muito Ruim (Cor Vermelha)</b>	121 - 200	> 150 - 250	> 75 - 125	> 160 - 200	> 13 - 15	> 320 - 1130	> 365 - 800
<b>N5: Péssima (Cor Lilás)</b>	> 200	> 250	> 125	> 200	> 15	> 1130	> 800

Nota: Elaborado pela CETESB, 2013.

A consequência da qualidade do ar na saúde humana está vinculada à Resolução CONAMA nº 491/2018 que independe do padrão de qualidade/meta intermediária em vigor. A Tabela 4 apresenta as consequências e a classificação.

**Tabela 4. Classificação da qualidade do ar e consequência na saúde humana**

Qualidade	Índice	Significado
<b>N1: BOA</b>	0 - 40	-
<b>N2: MODERADA</b>	41 - 80	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
<b>N3: RUIM</b>	81 - 120	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
<b>N4: MUITO RUIM</b>	121 - 200	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)
<b>N5: PÉSSIMA</b>	> 200	Toda a população pode apresentar sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares. Aumento de mortes prematuras em pessoas de grupos sensíveis

Nota: Adaptado da CETESB, 2023.

### 2.1.2. Sistemas Embarcados

Os sistemas embarcados têm a capacidade de interagir constantemente com o ambiente que está envolvido através da utilização de sensores e atuadores na realização de tarefa específica. Pois, o termo “embarcado” refere-se a sistemas que são projetados geralmente independentes de uma fonte de energia fixa como uma tomada, além, da alta capacidade computacional e sua independência de operação. É a criação de um sistema embarcado necessita de conhecimentos em programação, sistemas digitais, sistemas de tempo real e atuadores (CHASE, 2007).

Nesse sentido, os microcontroladores são criados com características de processadores de software que englobam muitas funções em apenas um chip, sendo contrário dos microprocessadores por não derivar de processadores de propósito geral. Os microcontroladores são projetados especialmente para sistemas embarcados e apresentam, instruções como a manipulação de bits ou acesso a pinos específicos do processador, viabilizando a construção de interfaces com dispositivos externos (RODRIGUES, PEDÓ, TEDESCO, 2013).

Este projeto utilizou a plataforma ESP32 *LoRa v2 Heltec* (Figura 1) tem como base os microcontroladores e que pode ser utilizada para a construção de projetos similares. A plataforma é um módulo microcontrolado com capacidade de conexão em 3 tecnologias wireless diferentes: Wifi, Bluetooth graças ao microcontrolador ESP32 e uma rede de comunicação a distância LoRa 863 a 928 MHz graças ao chip SX1276.



Figura 1. Esp32 Lora v2 Heltec

### 2.1.3. Internet das Coisas (IoT)

Em 1999, o termo “Internet das Coisas” foi proposto pelo MIT. *Internet of Things* - IoT é uma rede global emergente de internet baseado em arquitetura da informação visando a troca de bens e serviços (WEBER, 2009). No ano de 2005, a União Internacional de Telecomunicações (UIT) apresentou um relatório anual nomeado de “*Internet of Things*”, ampliando o conceito e formalizando o termo IoT.

Quando há um conjunto de sensores interligados são denominados de redes de sensores ou redes móveis, por meio de usuários espalhados em uma sala, cidade ou pelo mundo, são responsáveis por enviar informações para os servidores. Logo, os dados processados, conseqüentemente, tornam-se informações importantes, que pode ser

integrado a sistemas de informação, relatórios meteorológicos e diversas outras ferramentas (PIRES et al., 2015). É conhecido também de “Rede de Sensoriamento”, no qual os objetos se conectam entre si através da instalação de vários equipamentos (LI, 2012; CHEN, 2012).

Na maioria das vezes, os dispositivos IoT tem longa vida operacional sem necessitar de monitoramento e manutenção manuais. Apresentando um crescimento mais rápido em toda a tecnologia da computação (JAYAKUMAR et al., 2014). A segurança do sistema IoT é limitada devido à falta de recursos computacionais, isto é, poder de processamento e armazenamento, sendo necessário uma adaptação dos modelos existentes de segurança nesse ambiente (SICARI, 2015).

Neste projeto, conforme a Tabela 5, os sensores utilizados foram o de temperatura e umidade, monóxido de carbono e dióxido de carbono para realizar o monitoramento da qualidade do ar. Além de um microcontrolador para permitir a comunicação com a nuvem. Os dados desses sensores poderão ser monitorados pelo aplicativo móvel. Os sensores são dispositivos cruciais para a utilização da IoT, porque a partir deles é possível coletar diversos dados do local onde forem instalados. Dessa forma, com o avanço das redes sem fio, a comunicação desses sensores está cada vez mais eficiente e abrangente, permitindo o acesso e a transmissão rápida (ALMEIDA et al., 2015).

**Tabela 5. Sensores utilizados na solução tecnológica**

Descrição	Aplicação	Imagem
Sensor de Umidade e Temperatura (DHT11)	O Sensor de Umidade e Temperatura: DHT11 é um dos componentes mais utilizados em projetos que envolva medição de temperatura e umidade ambiente. É um sensor digital composto por um sensor de umidade do tipo HR202 e por um termistor tipo NTC conectados a um controlador de 8 bits que é responsável por produzir o sinal digital serial.	A photograph of a DHT11 sensor module. It consists of a blue plastic housing with a grid of holes on top and a black PCB with three pins (VCC, GND, DATA) at the bottom. The text 'DHT11' and 'DHT DATA VCC' are visible on the PCB.
Sensor de Monóxido de Carbono (MQ7)	O sensor de Gás MQ-7 é capaz de detectar o gás Monóxido de Carbono CO, um sensor muito usado em projetos de segurança e automação residencial visto este gás é altamente tóxico para o ser humano. Quando a concentração de Monóxido de Carbono fica acima do nível ajustado pelo potenciômetro, a saída digital DOUT fica em estado alto. Se abaixo do nível, fica em estado baixo.	A photograph of an MQ-7 gas sensor module. It features a cylindrical metal sensor element with a mesh screen on top, mounted on a blue PCB. The text 'MQ-7' is printed on the sensor element. There are four pins (VCC, GND, AOUT, DOUT) extending from the bottom.

<p>Sensor de Dióxido de Carbono (MQ135)</p>	<p>O MQ-135 é um sensor de gás com a capacidade de detectar a concentração de vários gases tóxicos em um ambiente, tais como: amônia, dióxido de carbono, benzeno, óxido nítrico, fumaça ou álcool.</p>	
---	---	---

#### 2.1.4. Computação em Nuvem

Atualmente, é comum acessar conteúdo pela internet de forma independente, ou seja, sem a necessidade de guardar informações no próprio dispositivo. Pois, a infraestrutura utilizada consiste em grandes computadores monitorados e mantidos 24 horas por dia. A computação em nuvem é uma parte desse paradigma em que os provedores oferecem serviços sofisticados que podem ser acessados por meio de uma rede (BYYA et al., 2009).

Há várias definições para computação em nuvem, de forma simples é um modelo de acesso sob demanda por meio da internet de recursos computacionais configuráveis (armazenamento, aplicações, serviços e software) que pode ser utilizado de acordo com a necessidade (RAO et al., 2012).

Essa tecnologia proporciona não apenas a redução de custos com servidores locais, a computação em nuvem é uma maneira simples, segura e econômica de ajustar a necessidade do negócio com recursos de computação. Um exemplo desse serviço, é o *Firebase*, um *Backend as a Service (Baas)* para aplicações Web e mobile, desenvolvido por James Tamplin e Andrew Lee no ano de 2011, e adquirido em 2014 pelo *Google* e com decorrer dos anos cresceu e se tornou uma ótima opção para alguns projetos, devido a quantidade de serviços fornecidos, além da utilização e implementação (SILVA, 2023).

O *Firebase* possui vários recursos, como *Realtime Database*, *Google Analytics*, *Cloud Firestore*, *Authentication* e outros (FIREBASE, (2023a)). Nesse sentido, o *Firebase* foi aplicado ao projeto para receber os dados dos sensores e serem consultados pelo recurso *Realtime Database*. Esse recurso é um banco de dados *NoSQL*, que sincroniza os dados em tempo real, e permanecem disponíveis quando o app está offline (FIREBASE, (2023b)).

## 2.2. Trabalhos Relacionados

### 2.2.1. Gruicin e Popa (2017)

O objetivo do trabalho de Gruicin e Popa (2017) foi desenvolver uma solução para monitoramento da qualidade do ar para indivíduos, onde a monitoração é deslocada de macro escala ou nível de cidade para microescala ou nível pessoal, onde os dados de qualidade foram correlacionados com atividades, hábitos, comportamento e saúde.

Para alcançar o objetivo foi desenvolvido um dispositivo vestível equipado com vários sensores de qualidade do ar seguindo restrições de bateria e largura de banda. Além da criação de um aplicativo para smartphone com a finalidade de receber os dados coletados pelo dispositivo vestível. Como principais resultados, a solução de monitoramento móvel da qualidade do ar, sendo composta por uma rede de nós de sensores, um aplicativo para smartphone e um para o servidor. Apresentando diversas dificuldades como de calibração dos sensores devido a mobilidade do sensor, consumo de energia e muitos dados gerados.

Nesse sentido, a solução tecnológica do projeto propõe pontos diferentes do trabalho de Gruicin e Popa (2017), como na utilização uma solução com sensores de baixo custo, uma aplicação simples e um dispositivo fixo no ambiente.

### **2.2.2. Ahmed, Banu e Paul (2017)**

O objetivo do trabalho de Ahmed, Banu e Paul (2017) foi desenvolver um sistema de monitoramento de inteligência baseado em IoT, que permitisse aos usuários rastrear a qualidade do ar ao redor de casa ou escritório.

E para alcançar o objetivo foi realizado o cálculo dos valores do sistema de unidades PPM dos gases, em seguida a implementação do sistema usado os sensores MQ-2, MQ-3 e MQ-7, além da comunicação feita por *buzzer*, *led* e cliente SSH para consultar os dados. Como principais resultados foram realizados testes com gás de cozinha em uma jarra com funil e cano colocando os sensores na jarra. Se o nível do gás ficar acima do nível tolerável a saúde humana o sistema informa na tela e ainda aciona o *led* e o *buzzer*.

Nesse sentido, a solução tecnológica deste trabalho propõe pontos diferentes do trabalho de Ahmed, Banu e Paul (2017), como na utilização de uma aplicação simples e comunicação por meio em tempo real com o dispositivo.

### **2.2.3. Nasution, Muchtar e Simon (2019)**

O estudo da pesquisa de Nasution, Muchtar e Simon (2019) foi desenvolver um sistema de monitoramento para determinar a qualidade do ar em uma área baseado em IoT. Para alcançar esse objetivo, foi realizado uma pesquisa bibliográfica em vários trabalhos anteriores relacionadas à temática, com o propósito de subsidiar a elaboração de uma fundamentação teórica.

Como principais resultados do teste do sistema, o autor aponta que os dados monitorados de compostos no ar foram de Ozônio, Dióxido de Enxofre, Monóxido de Carbono e PM<sub>10</sub> sendo recebidos a cada minuto. Os valores podem ser consultados em uma página web sendo apresentados em forma gráfica e podendo ser exportados em planilha de arquivo Excel. O autor ainda diz que é possível realizar um aplicativo para dispositivo móvel por meio de uma API para obter os dados que tenham sido coletados no servidor.

Nesse sentido, a solução tecnológica deste trabalho propõe diferenças do trabalho de Nasution, Muchtar e Simon (2019), como na utilização de uma aplicação móvel com uma média de tempo dos poluentes e dados apresentados em tempo real.

#### 2.2.4. Nasution et al. (2020)

O estudo de pesquisa de Nasution et al. (2020) foi desenvolver um sistema para monitorar a qualidade do ar interno usando a ESP32 como microcontrolador e sensores para os medir temperatura, umidade, H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, CO, NO<sub>2</sub> e SO<sub>2</sub>. Para atingir este objetivo, foi realizado estudos anteriores sobre monitoramento interno, a utilização de sensores que foram conectados na ESP32 e a codificação para receber a leitura dos dados.

Os resultados mostraram que o aparelho apresenta as medições para os parâmetros estabelecidos sendo aplicados em uma sala. Além dos dados medidos serem enviados para o *ThingSpeak Cloud* para serem monitorados de forma remota.

Nesse sentido, a solução tecnológica deste trabalho propõe diferenças do trabalho de Nasution et al. (2020), como na utilização de uma aplicação nativa para dispositivos móveis com uma média de tempo dos poluentes de ambiente externo.

### 3. Método da Pesquisa

O presente trabalho parte de uma pesquisa aplicada, pois pretende-se gerar conhecimentos para aplicação prática e imediata, dirigido à uma solução tecnológica de problemas envolvendo a qualidade do ar para prática de atividades físicas em ambientes públicos. Neste sentido, a estrutura da metodologia consiste em três etapas, conforme a apresentada na Figura 2.



Figura 2. Fluxograma das etapas de criação da solução

#### 3.1. Pesquisa Bibliográfica

É uma pesquisa, definida por Severino (2007), cujo método realiza-se a partir de registro disponíveis anteriormente, de pesquisas em documentos impressos ou digitais, como livros, artigos, teses etc. Esta tem como objetivo subsidiar conhecimentos acerca de estudos relacionados com a temática da solução tecnológica, permitindo uma visão ampla sobre o objeto de pesquisa, através de sites, livros e artigos científicos. Essa fase

foi realizada nas plataformas digitais conhecidas IEEE, *Google Scholar* e sites, tendo como resultado a seleção de, aproximadamente, 18 artigos para compor a base teórica.

### 3.2. Concepção

É a fase que consistiu em um levantamento de uma série de informações sobre a solução tecnológica, usando abordagens disponíveis na literatura. Tendo como resultado uma abordagem baseada em arranjos de interação - projetadas para uma abordagem em evidências com propósito de representar fluxos recorrentes de interação entre elementos abstratos do domínio IoT.

Silva (2020) propõe uma abordagem denominada de *ScenarIoT* que observou uma necessidade de um entendimento mais profundo do conceito e propriedades de *IoT*, além documentar e comunicar comportamentos de Sistema de Software em *IoT* (IoT-bSS) nas primeiras fases de desenvolvimento, já que os três comportamentos de sistema IoT (identificação, sensoriamento e atuação) são altamente contraditórios com a mentalidade tradicional relacionada a software.

A autora utilizou a atividade de descrição de cenários para aproveitar as atividades de *IoT-bSS*, pois as coisas dependem de outras para desencadear suas capacidades, seja de intervenção direta ou indireta de um ator (sistema ou indivíduo) ou mesmo uma reação de um sistema baseado em dados.

A partir dessas evidências foram organizados em estruturas chamadas de Arranjos de Interação de *IoT* (IIAs), representando fluxos de interação entre coisas e outros elementos não-IoT, independentemente do domínio, sendo compiladas em nove IIAs a serem usados para ajudar a escrever descrições de cenários. Para descrever o cenário o caminho pode ser dividido em duas etapas principais: Identificar um arranjo apropriado (ou uma combinação deles) e empregar o catálogo correspondente e escrever a descrição do cenário.

O arranjo *Data Producers* (Produtores de Dados ou Expositores de dados) que apenas executam a identificação de dados através da leitura e compartilhamento de informações (Figura 3) ou atuadores que podem receber comandos de atores humanos para realizar alguma ação (Figura 4).

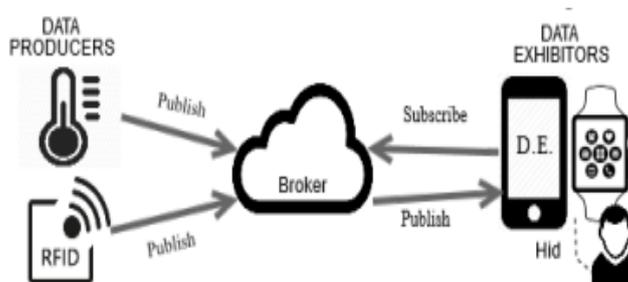
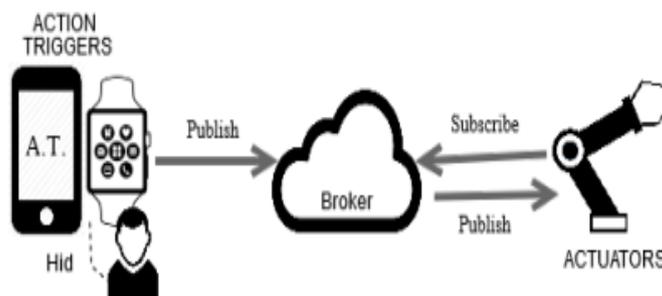


Figura 3. Arranjo de exibidores de dados (*Data Producers*)

Nota: Elaborado por Silva, 2020.



**Figura 4. Arranjo de atuadores**

Nota: Elaborado por Silva, 2020.

O arranjo de Exibidores de Dados possui um catálogo de informação (Tabela 6) para um cenário de Monitoramento de Coração, em seguida ocorre a descrição do cenário conforme a Figura 5.

**Tabela 6. Informações do catálogo do arranjo de interação IoT (IIA-1)**

Catálogo – Exibição de Dados	
Entidade	Informações Relacionadas
Produtores de Dados	Quem coletará os dados? <i>Sensores</i>
	Qual dado será coletado? <i>Som do coração</i>
	Fonte do dado? <i>Coração do Paciente</i>
Expositores de Dados	O que exibe o dado? <i>Dispositivos Móveis dos profissionais de saúde</i>
	Formato dos dados? <i>Taxas de batidas por minuto</i>
Consumidor de Dados	Quem acessa os dados? <i>Profissionais da Area da Saúde</i>
	Dados Semânticos? <i>Anomalias ou normalidade no ritmo cardíaco</i>

Nota: Elaborado por Silva, 2020.

***Descrição do Cenário de Monitoramento Cardíaco***

*Em alguns hospitais, pacientes com doenças cardíacas são monitorados continuamente. Os sensores captam o som cardíaco do coração dos pacientes e compartilham dados para serem visualizados em dispositivos móveis. Os profissionais de saúde monitoram a frequência de batimentos por minuto para observar anomalias ou normalidade nas frequências cardíacas.*

**Figura 5. Descrição do Cenário Monitoramento Cardíaco**

Nota: Adaptado de Silva, 2020.

### 3.3. Construção

A fase final consistiu na construção da solução tecnológica, utilizando como método de desenvolvimento o modelo Incremental, onde o produto é construído por pedaços, chamados de incrementos, onde cada parte é composto por um subconjunto de funcionalidades. Nesta fase, o trabalho seguirá as seguintes etapas:

- **Levantamento de Requisitos:** Foi realizado através da fase de concepção por meio da técnica *ScenarIoT*.
- **Modelagem:** A Documentação serviu para esclarecer as funcionalidades do protótipo do software. Foi utilizado o software *Astah Community*, através da Linguagem Unificada de Modelagem (UML), para elaboração dos seguintes diagramas: Caso de Uso, de Classe, de Sequência e Atividades.
- **Arquitetura:** Foram identificados os componentes estruturais da aplicação e o relacionamento entre eles. Para a criação da estrutura foi utilizado o software Canva.
- **Banco de Dados:** Documentação utilizada para mapear as tabelas, campos e relacionamentos. Foi utilizado o software *MySQL Workbench* para a elaboração do diagrama de banco de dados.
- **Implementação:** Foi utilizada o Ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE) chamado Arduino para a construção da solução para captura dos dados e comunicação e o *Figma* para criação da prototipação das telas do aplicativo.

## 4. Resultados e Discussões

### 4.1 PROJETO DO APLICATIVO AIRWORLD

#### 4.1.1 Levantamento dos Requisitos

Os requisitos para a solução tecnológica foram identificados através da abordagem *ScenarIoT* identificada na fase de concepção, aplicando os conceitos na solução tecnológica, o arranjo de Exibição de Dados (Figura 3) com catálogo de informações (Tabela 7) e a descrição do cenário (Figura 6).

Tabela 7. Informações do Catálogo da Solução Tecnológica

Catálogo – Exibição de Dados	
Entidade	Informações relacionadas
Produtores de Dados	Quem coletará os dados? <i>Sensor DHT11, Sensor MQ-I35, Sensor MQ7</i>
	Qual dado será coletado? <i>Dióxido de Carbono, Monóxido de Carbono, Temperatura e Umidade</i>
	Fonte do dado? <i>Ambiente Público</i>
Expositores de Dados	O que exibe o dado? <i>O dispositivo Móvel dos usuários</i>
	Formato dos dados? <i>Microgramas e Partes por milhão(ppm)</i>
Consumidor de Dados	Quem acessa os dados? <i>Usuários interessados em atividades ao livre ou lazer.</i>
	Dados Semânticos? <i>Anomalias ou normalidade na quantidade de poluentes</i>

Nota: Adaptado de Silva, 2020.

### ***Monitoramento da Qualidade do Ar em Ambientes Públicos***

Em locais públicos, a qualidade do ar é monitorada continuamente. *Sensores* capturam *poluentes* presentes *no ar* e compartilham os dados para serem visualizados por *dispositivos móveis*. Os *usuários* interessados em *atividades físicas ou lazer* em locais aberto monitoram a qualidade do ar através da *média de poluentes* presentes, classificando em *boa, moderado ruim, muito ruim e péssimo*.

**Figura 6. Descrição do cenário da solução tecnológica**

Nota: Adaptado de Silva, 2020.

#### **4.1.2. Requisitos Funcionais, Requisitos Não Funcionais e Regras de Negócio**

Com base na abordagem *ScenarIoT* de Silva (2019), para o levantamento de requisitos, através da utilização da descrição do cenário, arranjo, catálogo de informações do arranjo e os índices dos poluentes para a qualidade do ar fornecidos pela OMS (Tabela 1), CETESB (Tabela 2) e Resolução CONAMA nº 491/2018 (Tabela 4), foi possível determinar os requisitos funcionais e não funcionais conforme demonstrado nas Tabelas 8 e 9, respectivamente. Através dos requisitos levantados e apresentados, foi possível realizar a modelagem da solução tecnológica conforme demonstrado na próxima seção.

**Tabela 8. Requisitos funcionais**

<b>Identificador</b>	<b>Descrição</b>	<b>Prioridade</b>
RF01	O software deve permitir a visualização da qualidade do ar em determinado ambiente público através da média do Monóxido de Carbono e Dióxido de Carbono	Essencial
RF02	O software deve permitir a visualização da Temperatura do ambiente	Importante
RF03	O software deve permitir a visualização Umidade do ambiente	Importante

**Tabela 9. Requisitos não funcionais**

<b>Identificador</b>	<b>Descrição</b>	<b>Categoria</b>	<b>Prioridade</b>
RNF01	O software deverá ser compatível com <i>Android</i>	Portabilidade	Essencial
RNF02	A interface do software deverá se comportar adequadamente em diferentes tipos de tela	Portabilidade	Essencial
RNF03	O software deve permitir a visualização da temperatura a cada 5 segundos	Usabilidade	Importante
RNF04	O software deve permitir a visualização da humidade a cada 5 segundos	Usabilidade	Importante

### 4.1.3. Modelagem

#### 4.1.3.1. Diagrama de Caso de Uso

Sommerville (2011) afirma que Diagrama de Caso de Uso representa uma tarefa que envolve a interação externa com um sistema. De forma, simples seria o que o usuário espera do sistema. Assim, a Figura 7 mostra o diagrama modelado.

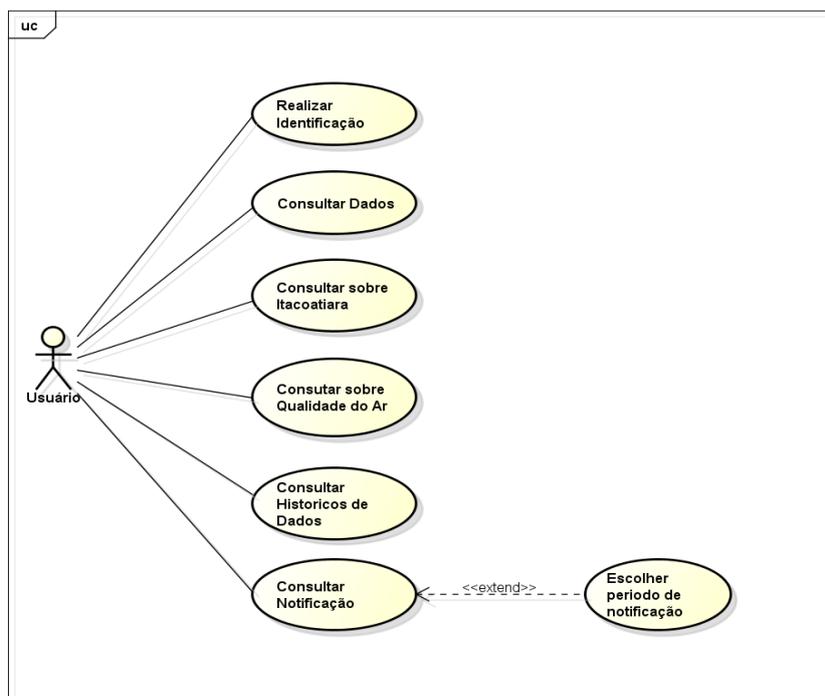


Figura 7. Diagrama de caso de uso do sistema

#### 4.1.3.2. Diagrama de Classes

Para Sommerville (2011), os diagramas de classes são usados no desenvolvimento de um modelo de sistema orientado a objetos, para apresentar as classes desse sistema e suas associações. Assim, classe de objeto é considerada uma definição genérica de um tipo de objeto do sistema. Neste sentido, a Figura 8 apresenta o diagrama modelado de acordo com os requisitos.

#### 4.1.3.3. Diagrama de Sequência

Diagramas de Sequência são utilizados para mostrar as sequências de interações entre atores e os objetos com o sistema e as interações entre os próprios objetos durante um caso de uso em particular ou em uma instância de um caso de uso (SOMMERVILLE, 2011). Dessa forma, foi modelado os diagramas para “Consultar Dados”, conforme a Figura 9 e “Consultar Histórico dos Dados”, conforme a Figura 10.

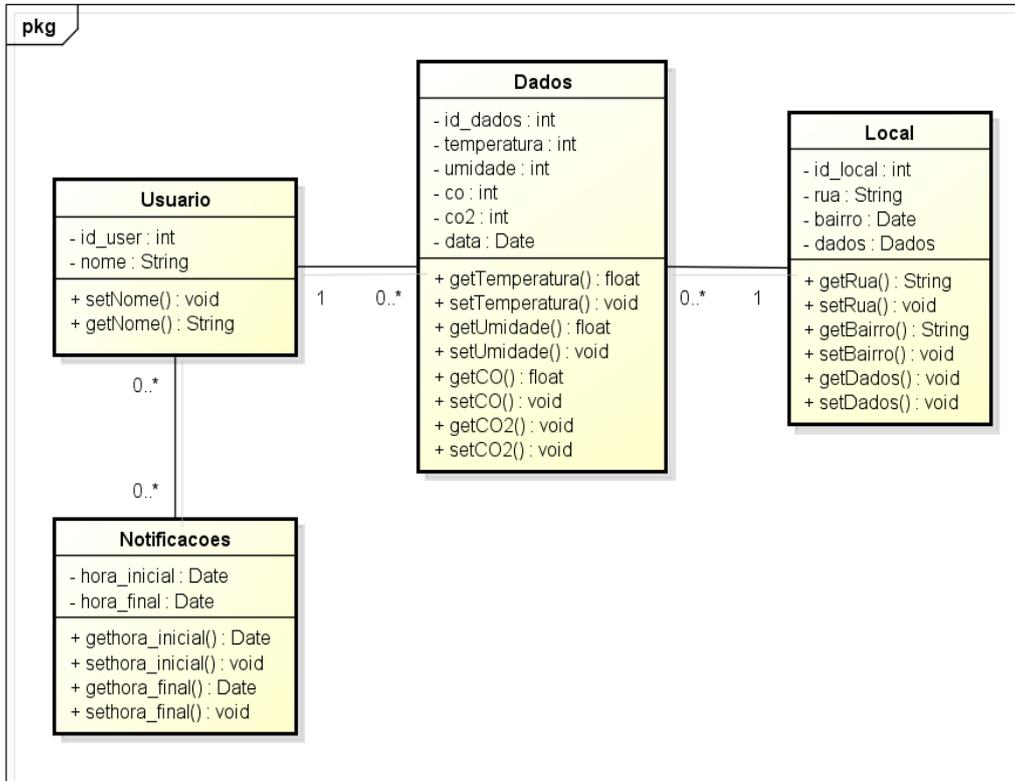


Figura 8. Diagrama de classes do sistema

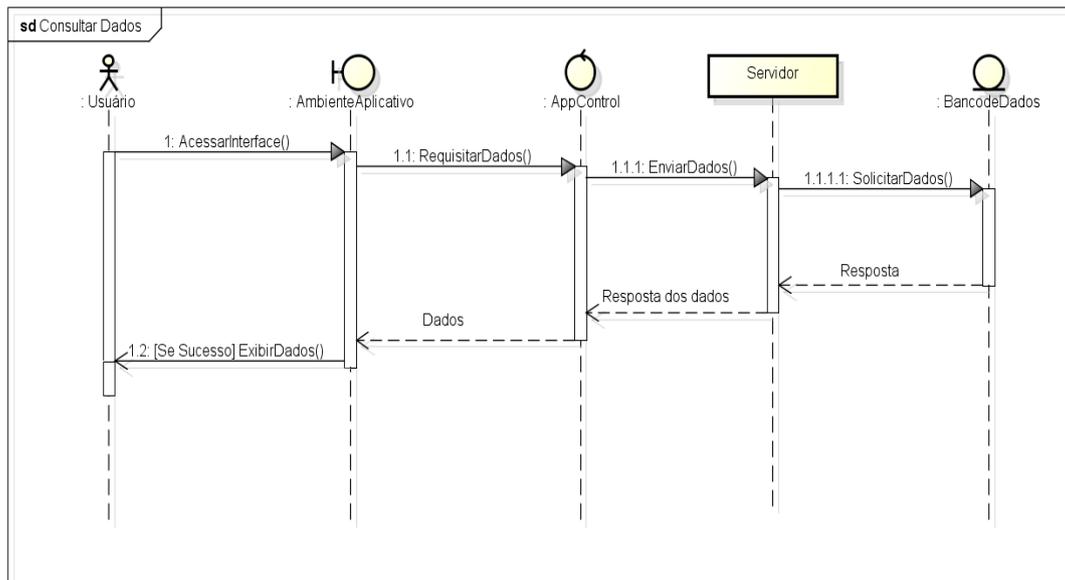
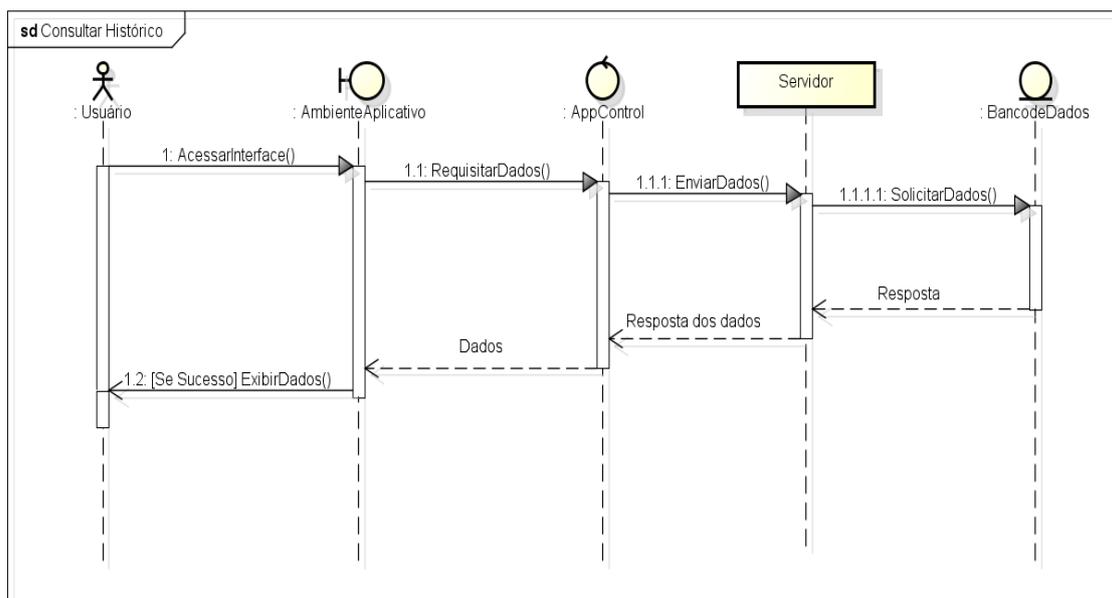


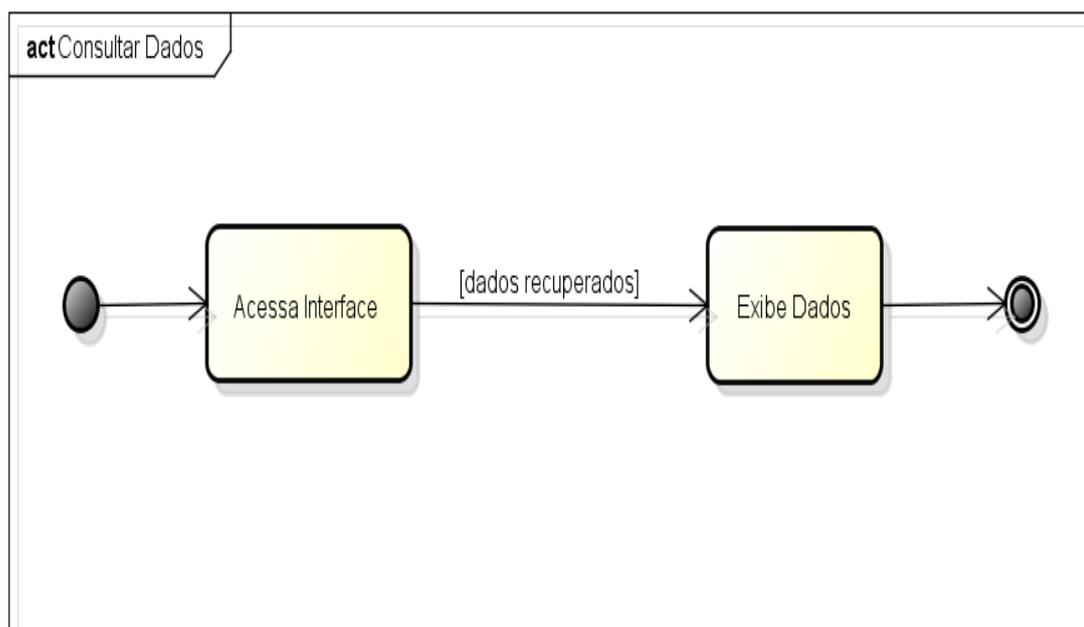
Figura 9. Diagrama de seqüência “Consultar Dados”



**Figura 10. Diagrama de sequência “Consultar Histórico”**

#### 4.1.3.4. Diagrama de Atividades

Os Diagramas de Atividades são utilizados para mostrar as atividades de um processo específico no sistema, além do fluxo do controle de uma atividade para outra. Sendo assim, foi modelado o diagrama para “Consultar Dados”, conforme a Figura 11 e “Consultar Histórico dos Dados”, conforme a Figura 12.



**Figura 11. Diagrama de atividade “Consultar Dados”**

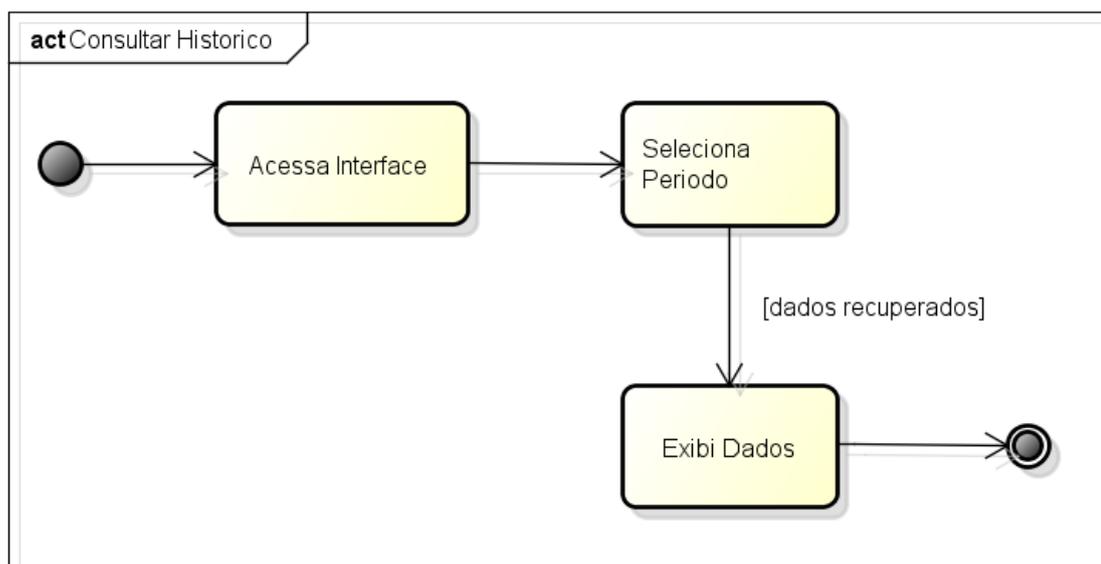


Figura 12. Diagrama de atividade “Consultar Histórico”

#### 4.1.3.5. Arquitetura

Na Figura 13 é apresentada a arquitetura da solução tecnológica, onde o usuário, portador do dispositivo móvel, com o aplicativo AirWorld instalado, está conectado à rede de forma a acessar os dados armazenados na nuvem. Na arquitetura, a *Lora ESP32 Heltec* possui duas tarefas fundamentais: a primeira é de capturar os dados do ambiente através dos sensores alocados e instalados no microcontrolador. Dessa forma, com os dados capturados, a *Lora ESP32 Heltec* desempenha a segunda tarefa, que é processar e enviar os dados para o *Firebase*, para ser acessados posteriormente.

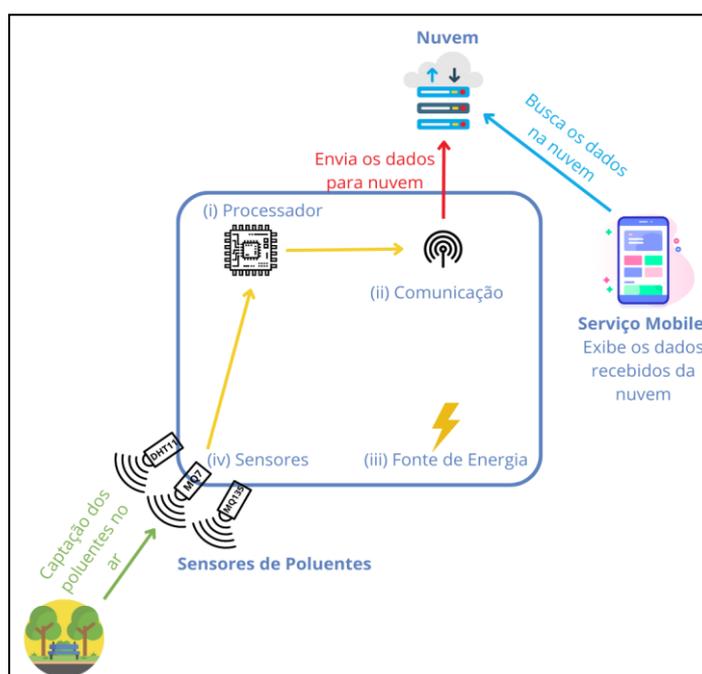


Figura 13. Arquitetura

#### 4.1.3.6. Banco de Dados

A estrutura do Banco de Dados da solução tecnológica AirWorld é demonstrada na Figura 14. A tabela “Dados” irá conter os atributos “temperatura”, “umidade”, “co”, “co2” e “data” para armazenar os dados. A tabela “Local” irá conter os atributos “rua”, “bairro” e “id\_dados” onde esse atributo é uma chave estrangeira da tabela dados que armazena os dados capturados. E a tabela “Usuário” é utilizada para que o usuário tenha segurança e receba notificação da qualidade do ar.

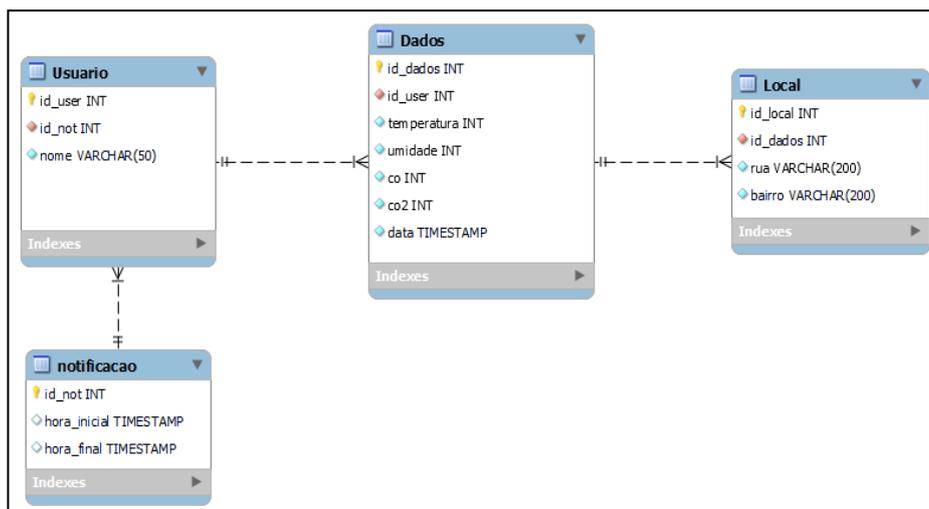


Figura 14. Banco de Dados

## 4.2. Prototipação do Aplicativo AIRWORLD

### 4.2.1. Telas do Aplicativo AIRWORLD

A prototipagem foi desenvolvida em conformidade com o levantamento de requisitos. A tela inicial do aplicativo apresenta uma breve informação do aplicativo e um ícone. Logo em seguida, é mostrada a tela de identificação, onde o usuário entrará com seu nome de usuário. A Figura 15 apresenta as telas iniciais da solução tecnológica: Tela Inicial e Tela de Identificação.

#### 4.2.1.1. Tela de Menu

Após a autenticação o usuário vai acessar a tela de Menu, onde pode navegar pelas funções disponíveis no aplicativo e escolher entre as opções: (i) Localidade, (ii) Histórico, (iii) Notificações, (iv) Sobre a Qualidade do Ar, (v) Sobre Itacoatiara e (vi) Ajuda. A Figura 16 mostra o menu.

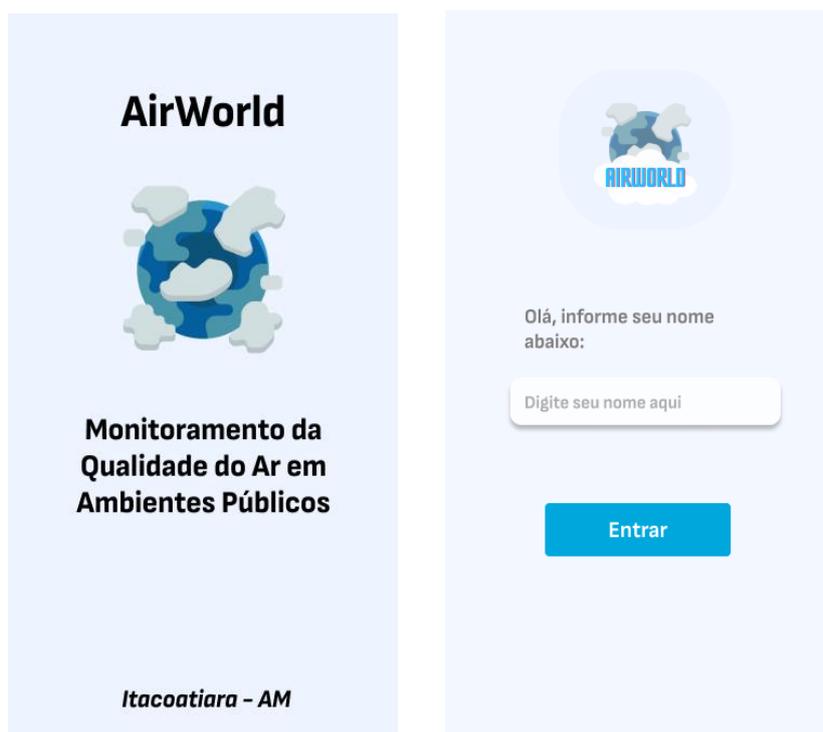


Figura 15. Tela inicial e de identificação



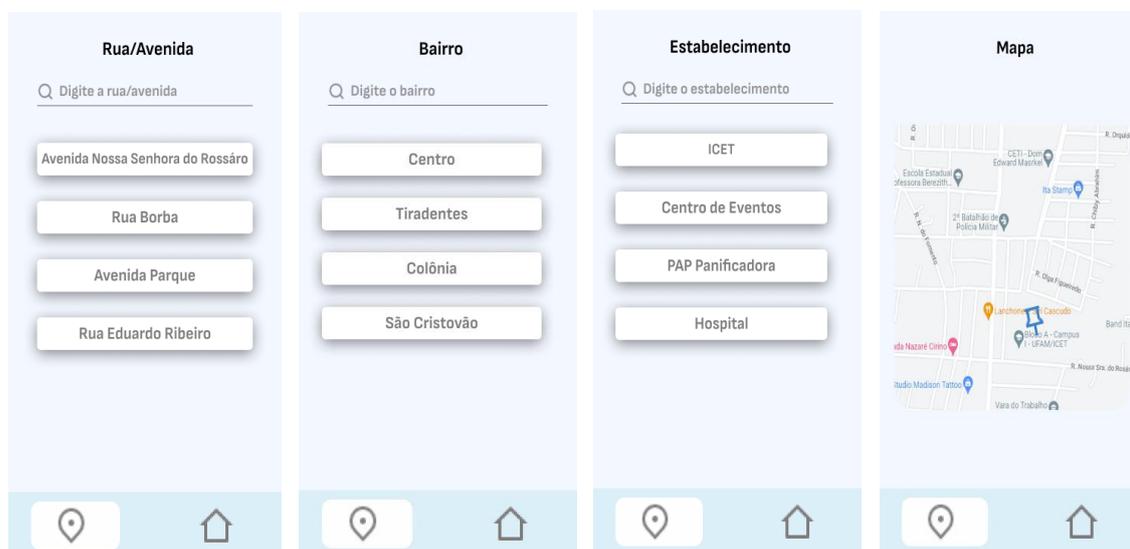
Figura 16. Tela de menu

#### 4.2.1.2. Tela de Localidade

A Figura 17, apresenta a tela de Localidade, onde o usuário poderá selecionar o local por Rua/Avenida, Bairro, Estabelecimento ou Mapa para visualizar os dados sobre a qualidade do ar. Ao clicar em uma opção irá aparecer os locais e se necessitar poderá buscar por um local específico na área de pesquisa, conforme mostra a Figura 18.



**Figura 17. Tela de pesquisar localidade**



**Figura 18. Tela de resultado da localidade**

Após a escolha do local desejado, o usuário acessará a tela com as informações sobre a qualidade do ar naquele local como mostra a Figura 19 e se quiser pode clicar na opção *Saiba Mais* para visualizar o histórico da qualidade do ar e uma previsão para próximas horas, conforme mostra a Figura 20.

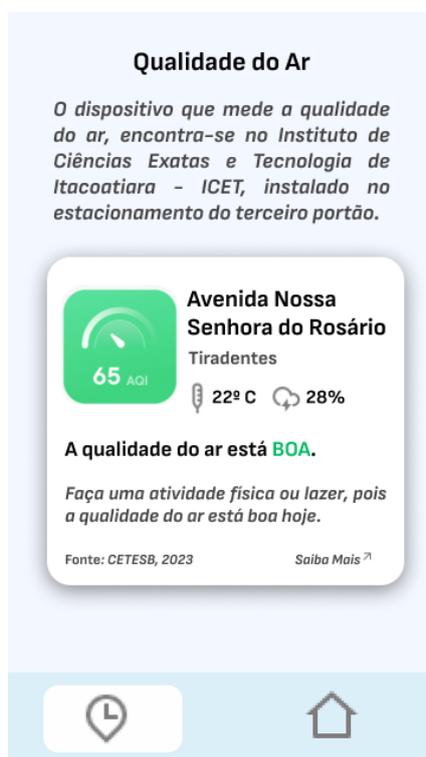


Figura 19. Telas do local com suas informações

#### 4.2.1.3. Telas de Histórico

Ao clicar em “Histórico” o usuário pode irá visualizar um histórico da qualidade do ar, dos 7 dias anteriores, e uma previsão da qualidade do ar para as próximas horas, conforme mostra a Figura 20. Entretanto, para visualizar o histórico, deverá antes seleccionar a localidade de acordo com a Figura 17.



Figura 20. Telas de histórico

#### 4.2.1.4. Telas de Notificações

No menu de “Notificações” o usuário pode realizar o gerenciamento das suas notificações, através do cadastro da hora inicial e final para receber um alerta sobre a qualidade do ar, sendo facultativo a remoção do horário informado de forma não receber novos alertas (para isso basta clicar em editar, deixar os campos vazios, e clicar em cadastrar). Isto foi pensando para que o usuário não seja importunado pelas mensagens enviadas pelo aplicativo. A Figura 21 mostra as telas de notificação.

#### 4.2.1.5. Tela sobre a Qualidade do Ar

No menu “Entenda Sobre a Qualidade do Ar” o usuário poderá selecionar entre as opções “Qualidade do Ar”, “Diretrizes da OMS”, “Diretrizes da CETESB” e “Diretrizes do CONAMA” para saber sobre como é feita o que é qualidade do ar, quais as diretrizes de classificação e quais os problemas causados pela poluição do ar na saúde, conforme mostra a Figura 22.

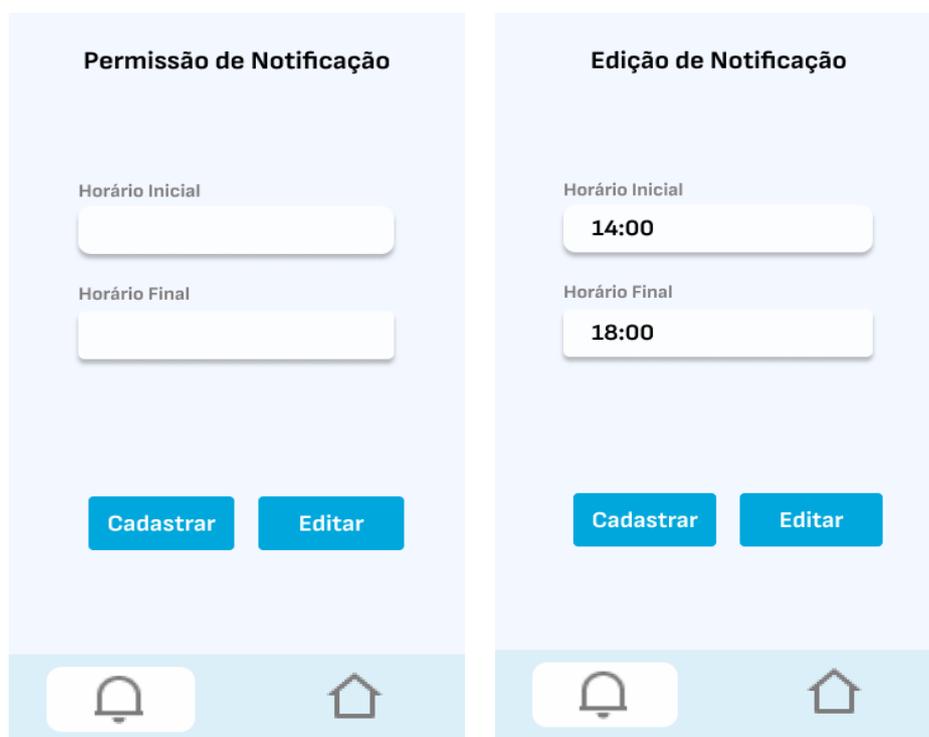


Figura 21. Telas de notificação

#### 4.2.1.6. Tela Sobre Itacoatiara

Após o usuário clicar em “Sobre Itacoatiara” irá apresentar informações sobre o ano de fundação, como é conhecida a cidade, sua população etc., conforme mostra a Figura 23.

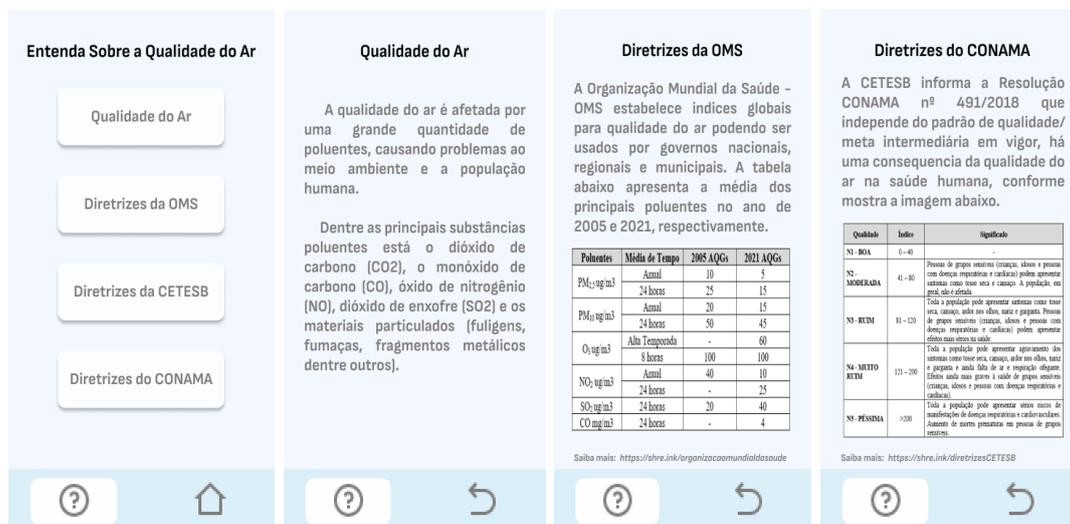


Figura 22. Tela de entenda sobre a qualidade do ar

#### 4.2.1.7. Tela de Ajuda

Após clicar no menu de “Ajuda” o usuário pode entrar em contato com o suporte, verificar o termo de Política de Privacidade e ter informações sobre o aplicativo, conforme a Figura 24.

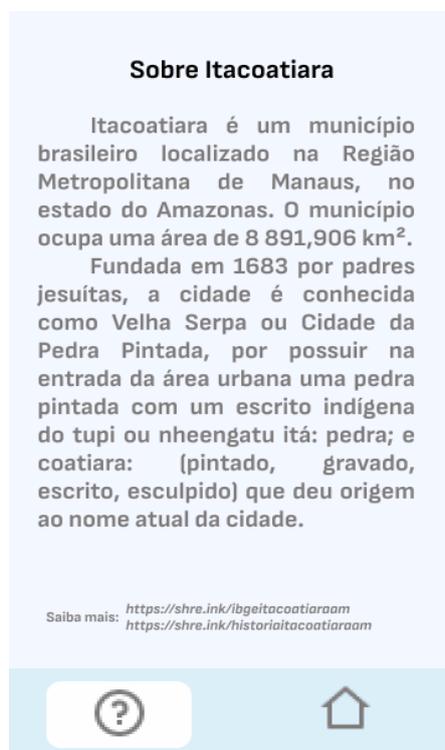


Figura 23. Tela sobre Itacoatiara

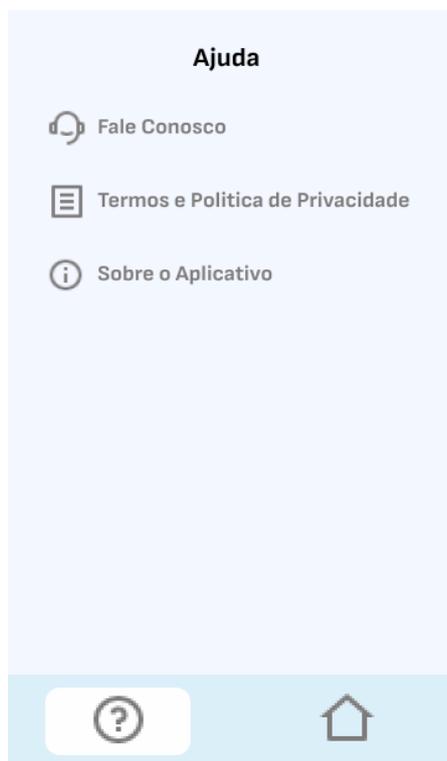


Figura 24. Tela de Ajuda

#### 4.2.2. Implementação do Protótipo de Hardware

O sistema do embarcado foi construído na IDE chamada de Arduino IDE que contém um editor de texto para escrever o código, uma área de mensagem, um console de texto e diversos menus. A Figura 25 mostra o algoritmo, construído, que é responsável por conectar em uma rede, capturar o valor do monóxido de carbono e, enviar os dados para o *Firebase*. Os outros valores seguem o mesmo padrão, conforme os itens descritos abaixo.

1. Bibliotecas: são importadas algumas bibliotecas necessárias para o funcionamento do algoritmo, como: (i) a biblioteca “Arduino” e “Wifi”, usadas para identificar a Lora Esp32 v2 Heltec na IDE e conectar na rede, (ii) a biblioteca “Firebase\_ESP\_Client” responsável pela conexão e envio dos dados para o banco de dados e (iii) a biblioteca “DHTesp” responsável pelo DHT11.
1. Sensores: a variável “dht” declarada da biblioteca “DHTesp” é responsável pelo pino de captura dos dados da temperatura e umidade, respectivamente.
2. Banco de Dados: é definida variáveis para realizar a conexão com a rede e com o banco de dados.
3. Este item mostra a linha de código onde é recuperado o valor lido pelo sensor,
4. Após a captura do valor é enviado para o banco de dados.

```

1  #include <Arduino.h>
2  #include <WiFi.h>
3  #include <Firebase_ESP_Client.h>
4  #include "DHTesp.h"
5  DHTesp dht;
6  #define DELAY 30000
7
8  #define WIFI_SSID "SUPER"
9  #define WIFI_PASSWORD "wplwp2wp3"
10 #define API_KEY "AizaSyC-rsLQy7ZfC-B0Pn0pTreStGizGwuQ4_E"
11 #define DATABASE_URL "https://tccairqualitywemos-default-rtdb.firebaseio.com/"
12 #define USER_EMAIL "s.alex.s1515@gmail.com"
13 #define USER_PASSWORD "12345678"
14 FirebaseData fbdo;
15 FirebaseAuth auth;
16 FirebaseConfig config;
17 unsigned long sendDataPrevMillis = 0;
18
19 void setup() {
20   dht.setup(27, DHTesp::DHT11);
21   WiFi.begin(WIFI_SSID, WIFI_PASSWORD);
22   unsigned long ms = millis();
23   while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) { Serial.print("."); delay(300); }
24   config.api_key = API_KEY;
25   auth.user_email = USER_EMAIL;
26   auth.user_password = USER_PASSWORD;
27   config.database_url = DATABASE_URL;
28   fbdo.setResponseSize(2048);
29   Firebase.begin(&config, &auth);
30   Firebase.reconnectWiFi(true);
31   Firebase.setDoubleDigits(5);
32   config.timeout_serverResponse = 10 * 1000;
33 }
34
35 void loop() {
36   delay(DELAY);
37   int temperature = dht.getTemperature();
38   int humidity = dht.getHumidity();
39
40   if (Firebase.ready() && (millis() - sendDataPrevMillis > 5000 || sendDataPrevMillis == 0)) {
41     sendDataPrevMillis = millis();
42     Firebase.RTDB.setInt(&fbdo, F("/ICET/Temperatura"), temperature);
43     Firebase.RTDB.setInt(&fbdo, F("/ICET/Humidade"), humidity);
44   }
45 }

```

Figura 25. Código de captura dos dados dos sensores

A Figura 26 e Figura 27 apresentam o protótipo de hardware desenvolvido para captura de informações da qualidade do ar por meio dos sensores descritos na fase de levantamento de requisitos e uma placa voltada para IoT.

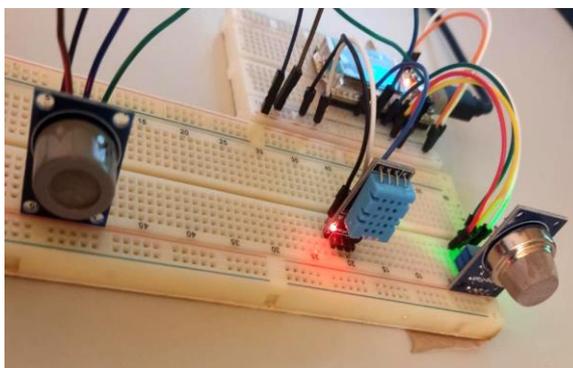


Figura 26. Imagens dos Sensores MQ7, DHT11 e MQ135

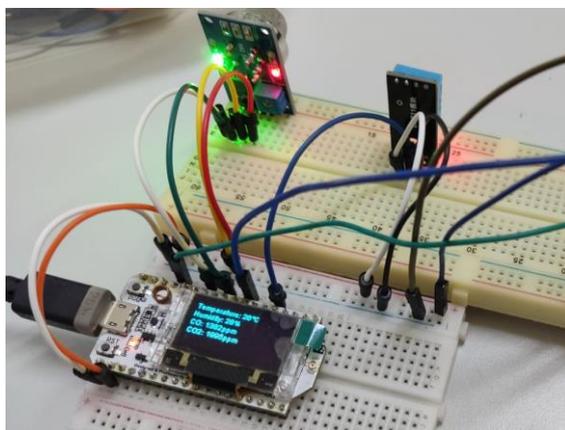


Figura 27. Imagem da placa voltada para IoT

## 5. Conclusão

A tecnologia IoT aplicada no cotidiano dos seres humanos proporciona melhorias em suas atividades, como no monitoramento de equipamentos na área da indústria, na automatização domiciliar, entre outros auxílios. Na área da saúde não é diferente e pode trazer grandes benefícios com o intuito de preservar a vida, além da possibilidade do compartilhamento dos dados capturados, formando uma grande base de dados que pode ser usada em vista de vários benefícios.

Neste sentido, este trabalho tem como objetivo apresentar o desenvolvimento de uma solução tecnológica que permite aos usuários a visualização dos dados sobre a qualidade do ar de forma a proporcionar melhoria na qualidade de vida da população que utiliza espaços públicos para práticas de atividades físicas ou lazer.

Neste trabalho, foram apresentados os protótipos das telas de como o aplicativo poderá funcionar, onde o usuário tem a possibilidade de monitorar, em tempo real, a qualidade do ar, através das medidas do monóxido de carbono, dióxido de carbono, temperatura e umidade. Além disso, poderá visualizar o histórico dos últimos 7 dias e uma previsão para as próximas horas. Para complementar, o aplicativo irá mostrar um pouco sobre Itacoatiara e sobre o termo de qualidade do ar.

A maior contribuição em relação a solução tecnológica foi a implementação do hardware que faz a comunicação dos sensores com o banco de dados para captar as informações do ambiente. Outra importante contribuição foi a aplicação da técnica de arranjos chamada de *ScenarIoT*, para identificar as funcionalidades necessárias e a arquitetura de hardware que poderia ser aplicada para calcular como os dados são processados.

Em projetos futuros, serão implementadas melhorias na identificação do melhor horário para prática de atividades físicas ou lazer, além de outras formas de identificação da qualidade do ar.

## Referências

- ALMEIDA, H.; AQUINO, A.; LOUREIRO, A.; OCAMPOS, T.; PORTO, F.; ZIVIANI, A.; OGASAWARA, E.; NAZARENO, A.; GUES, P.; GRÉGIO, A.; MELO, B.; LUÍS, R.; OHTA, R.; ITO, M.; SILVA, A.; BINOTTO, A.; GANDOUR, F.; SANTOS, D.; MARTINS, A.; ABREU, M.; COSTA, C. **Internet das Coisas: Tudo Conectado**. Revista da Sociedade Brasileira de Computação, n. 24, 2015.
- AHMED, M. M.; BANU, S.; PAUL, B. **Real-time Air Quality Monitoring System for Bangladesh's Perspective Based on Internet of Things**. In: 2017 3rd International conference on electrical information and communication technology (EICT). IEEE, 2017. p. 1-5.
- AZUAGA, D. **Danos Ambientais Causados por Veículos Leves no Brasil**. Tese de mestrado em Engenharia – UFRJ, 2000.
- BIGAZZI, A. Y.; FIGLIOZZI, Miguel A. **Review of Urban Bicyclists' Intake and Uptake of Traffic-Related Air Pollution**. Transport Reviews, v. 34, n. 2, p. 221-245, 2014.
- BUYYA, R.; YEO, C. S.; VENUGOPAL, S.; BROBERG, J.; BRANDIC, I. **Cloud Computing and Emerging IT Platforms: Vision, Hype, and Reality for Delivering Computing as the 5th Utility**. Future Generation computer systems, v. 25, n. 6, p. 599-616, 2009.
- CAIAZZO, F.; ASHOK, A.; WAITZ, I. A.; YIM, S. H. L.; BARRET, S. R. H. **Air Pollution and Early Deaths in the United States. Part I: Quantifying the Impact of Major Sectors in 2005**. Atmospheric Environment, v. 79, p. 198-208, 2013.
- CASELLI, M.; GENNARO, G.; MARZOCCA, A.; TRIZIO, L.; TUTINO, M. **Assessment of the Impact of the Vehicular Traffic on BTEX Concentration in Ring Roads in Urban Areas of Bari (Italy)**. Chamosphere. 2010. Vol. 81. Ed. 3, p. 303-311.
- COELHO, C. F.; BURINI, Roberto Carlos. **Atividade Física para Prevenção e Tratamento das Doenças Crônicas não Transmissíveis e da Incapacidade Funcional**. Revista de Nutrição, v. 22, p. 937-946, 2009.
- CHASE, O. 2007. **Sistemas Embarcados**. Disponível em: <http://www.lyfreitas.com/ant/pdf/Embarcados.pdf>. Acesso em: 24 março de 2017.
- CHEN, H.; GOLDBERG, M. S.; BURNETT, R. T.; JERRETT, M.; WHEELER, A. J.; VILLENEUVE, P. J. **Long-term Exposure to Traffic-Related Air Pollution and Cardiovascular Mortality**. Epidemiology, p. 35-43, 2013.
- SILVA, V. M.; TRAVASSOS, G. H. **ScenarIoT: Support for Scenario Specification of Internet of Things-Based SoftBBware Systems**. In: CONCURSO DE TESES E DISSERTAÇÕES EM ENGENHARIA DE SOFTWARE (CTD-ES) - CONGRESSO BRASILEIRO DE SOFTWARE: TEORIA E PRÁTICA (CBSOFT), 11, 2020, Evento Online. Anais [...]. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2020. p. 195-209.
- DAPPER, S. N.; SPOHR, C.; ZANINI, R. R. **Poluição do Ar como Fator de Risco para a Saúde: Uma Revisão Sistemática no Estado de São Paulo**. Estudos Avançados, v. 30, p. 83-97, 2016.

- ESFAHANI, S.; ROLLINS, P.; SPECHT, J. P.; COLE, M.; GARDNER, J. W. **Smart City Battery Operated IoT Based Indoor Air Quality Monitoring System**. In: 2020 IEEE SENSORS. IEEE, 2020. p. 1-4.
- FIREBASE (2023a). **Documentação do Firebase**. Disponível em: <https://firebase.google.com/docs?hl=pt-br>. Acessado em: 24 de fevereiro de 2023.
- FIREBASE (2023b). **Firestore Realtime Database**. Disponível em: <https://firebase.google.com/docs/database?hl=pt-br>. Acessado em: 24 de fevereiro de 2023.
- GRUICIN, I.; POPA, M. **Airify - A Mobile solution for Monitoring Air Quality in Urban Areas**. In: 2017 25th Telecommunication Forum (TELFOR). IEEE, 2017. p. 1-4.
- JAYAKUMAR, H.; LEE, K.; LEE, W. S.; RAHA, A.; KIM, Y and RAGHUNATHAN, V. **Powering the Internet of Things**. Proceedings of the 2014 international symposium on Low power electronics and design, pp. 375-380, 2014.
- LI, T.; CHEN, L. **Internet of Things: Principle Framework and Application**. In: Future Wireless Networks and Information Systems: Volume 2. Springer Berlin Heidelberg, 2012. p. 477-482.
- NASUTION, T. H.; MUCHTAR, M. A.; SIMON, A. **Designing an IoT-Based Air Quality Monitoring System**. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2019. p. 012037.
- NASUTION, T.; HIZRIADI, A.; TANJUNG; NURMAYADI, Fitra. **Design of Indoor Air Quality Monitoring Systems**. 4rd International conference on electrical, telecommunication and computer engineering (ELTICOM). IEEE, 2020. p. 238-241.
- NIELSEN, Jakob. **Usability Engineering**. Morgan Kaufmann, 1994.
- OREGON HEALTH AUTHORITY. Transportation Research Briefs, **Oregon Public Health Division**. OHA 8246. Oregon, USA: março, 2015.
- PIRES, P.; DELICATO, F.; BATISTA, T.; BARROS, T.; CAVALCANTE, E.; PITANGA, M. **Plataformas para a Internet das Coisas**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE REDES DE COMPUTADORES E SISTEMAS DISTRIBUÍDOS (SBRC), Vitória, p. 110-169, 2015.
- RAO, B. B. P.; SALUIA, P.; SHARMA, N.; MITTAL, A.; SHARMA, S. V. **Cloud Computing for Internet of Things & Sensing Based Applications**. In: 2012 Sixth International Conference on Sensing Technology (ICST). IEEE, 2012. p. 374-380.
- RODRIGUES, E.; PEDÓ, R.; TEDESCO, L. **Sistemas Embarcados e sua Aplicação na Indústria**. In: Workshop em Sistemas e Processos Industriais, Santa Cruz do Sul, 2013.
- SANTOS, A.; DE ARAUJO, K. R. B; PACHÚ, C. O. **Qualidade de Vida do Idoso: Prática de Caminhadas ao Ar Livre**. Disponível em: [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health). Acessado em: 10 de janeiro de 2022.
- SEVERINO, A. **Metodologia do Trabalho Científico**. 23. ed. rev. atual. São Paulo, SP: Cortez, 2007. 304 p. ISBN 9788524913112.

SICARI, S.; RIZZARDI, A.; GRIECO, L. A.; COEN-PORISINI, A. **Security, Privacy and Trust in Internet of Things: The Road Ahead**. Computer networks, v. 76, p. 146-164, 2015.

SILVA, G. **O Que é Firebase?**. Disponível em: <https://coodesh.cobbm/blog/dicionario/o-que-e-firebase/>. Acessado em: 24 de fevereiro de 2023.

SOMMERVILLE, I. **Engenharia de Software**. Tradução IVAN, B e KALINA, G; revisão técnica KECHI, H. 9. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.

WEBER, R. H. **Internet of Things – Need for a New Legal Environment?** Computer law & security review, v. 25, n. 6, p. 522-527, 2009.

WORLD HEALTH ORGANIZACION. **Ambient(Outdoor) Air Polluitor**. Disponível em: [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health). Acessado em: 10 de janeiro de 2022.