

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA

ADONIS ANDREAS MARINOS

Aplicação IoT para Monitoramento da Qualidade do Ar

São José - SC

Agosto/2022

APLICAÇÃO IOT PARA MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR

Proposta de Trabalho de Conclusão de Curso apresentada ao Curso de Engenharia de Telecomunicações do campus São José do Instituto Federal de Santa Catarina para a obtenção do diploma de Engenheiro de Telecomunicações.

Orientador: Prof. Arliones Stevert Hoeller Junior, Dr.

São José - SC

Agosto/2022

ADONIS ANDREAS MARINOS

APLICAÇÃO IOT PARA MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro de Telecomunicações, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, e aprovado na sua forma final pela comissão avaliadora abaixo indicada.

São José - SC, 29 de agosto de 2022:

Prof. Arliones Stevert Hoeller Junior, Dr.
Orientador
Instituto Federal de Santa Catarina

Prof. Mário de Noronha Neto, Dr.
Instituto Federal de Santa Catarina

Prof. Odilson Tadeu Valle, Dr.
Instituto Federal de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, aos meus pais, meus avós e meu irmão por sempre me darem apoio independente da decisão tomada e sempre proporcionarem o melhor para mim.

Agradeço também a minha namorada, Giulia, por toda ajuda emocional, racional e compreensão durante a realização deste trabalho.

Agradeço aos meus melhores amigos, Lucas, Ygor, Italo, Igor, Gustavo e Jhonatan, os quais sempre me ajudaram e apoiaram independente do momento.

Agradeço ao meu orientador Arliones Stevert Hoeller Junior por todo suporte dado durante a realização deste trabalho.

Por fim, agradeço a todos os colegas, professores e amigos que estiveram presentes do começo ao fim da minha jornada pela graduação, obrigado.

RESUMO

Este trabalho trata de como a composição do ar de um determinado ambiente, no qual há constante atividade tecnológica poluente, pode ter sua qualidade afetada e, conseqüentemente, impactar no dia-a-dia e na vida das pessoas que ali frequentam. O objetivo final do projeto será confeccionar um produto que colete dados sobre as grandezas que são utilizadas para classificar este ar por meio de sensores vinculados a um microcontrolador, a comunicação deste com um banco de dados para o armazenamento dos dados, além de um software de análise para assim rotular o ar do local.

Palavras-chave: IoT. Sensores. Microcontrolador.

ABSTRACT

This work deals with how the composition of the air in a given environment, in which there is constant polluting technological activity, can have its quality affected and, consequently, impact the day-to-day and the lives of the people who attend there. The final objective of the project will be to manufacture a product that collects information on the gases that are measured to classify the air quality through sensors linked to a microcontroller, its communication with a database for data storage, as well as a software that analyzes and labels the air of a certain place.

Keywords: IoT. Sensors. Microcontroller.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Diagrama da arquitetura IoT	13
Figura 2 – Diagrama da arquitetura da rede LoRa	17
Figura 3 – Diagrama de funcionamento do projeto.	22
Figura 4 – Esquemático da montagem do dispositivo.	23
Figura 5 – Foto do dispositivo final.	24
Figura 6 – Fluxograma do programa feito no Arduino.	25
Figura 7 – Diagrama da aplicação na interface do Node-RED.	26
Figura 8 – Interface do Grafana.	27
Figura 9 – Gráfico da concentração de CO durante o período analisado.	28
Figura 10 – Gráfico da concentração de fumaça durante o período analisado.	28
Figura 11 – Gráfico da concentração de metano durante o período analisado.	29
Figura 12 – Gráfico da concentração de NO2 durante o período analisado.	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Padrões de qualidade do ar (BRASIL, 2018).	12
Tabela 2 – Níveis de atenção, alerta e emergência para poluentes (BRASIL, 2018).	13
Tabela 3 – Soluções existentes e proposta do trabalho.	20
Tabela 4 – Sensores adquiridos.	23

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	Objetivos	9
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	11
2.1	Resolução do CONAMA sobre qualidade do ar	11
2.2	O conceito de <i>Internet of Things</i> e sua arquitetura	12
2.2.1	Sensores/Atuadores	13
2.2.2	<i>Gateway</i>	14
2.2.3	<i>Edge Analytics</i>	14
2.2.4	Central de dados/Plataforma na nuvem	15
2.3	Análise de Séries Temporais	15
2.4	Rede LoRaWAN	16
2.5	MQTT	17
2.6	Node-RED	17
2.7	InfluxDB	18
2.8	Grafana	18
2.9	Soluções Existentes	19
3	DESENVOLVIMENTO DA SOLUÇÃO	21
3.1	Análise de Requisitos	21
3.1.1	Requisitos funcionais	21
3.1.2	Requisitos não-funcionais	21
3.2	Arquitetura do projeto	22
3.3	Dispositivo de medição de poluentes	22
3.3.1	Configuração da aplicação na The Things Network	25
3.4	Integração via Node-RED	26
3.5	Banco de dados InfluxDB	26
3.6	Grafana	26
3.7	Resultados	27
4	CONCLUSÃO	31
	REFERÊNCIAS	32

1 INTRODUÇÃO

A rápida evolução tecnológica da sociedade traz em sua bagagem diversos impactos ambientais, muitos deles sendo imperceptíveis para a grande maioria da população, como os gases nocivos que não são visíveis ao olho nu e estão presentes em grande parte das situações cotidianas do ser humano, o que pode ser considerado uma possível ameaça à saúde a longo prazo.

Levando em conta essa evolução, a Internet das Coisas (IoT) tem simbolizado um novo estágio histórico para o desenvolvimento da Internet. O ponto chave da IoT pode ser definido como “utilizar uma tecnologia de rede integrada, sinérgica e ubíqua para prover serviços ubíquos inteligentes” (GUO; ZHU; YANG, 2016), ou em outras palavras, utilizando a onipresente tecnologia de rede de informação para entregar serviços inteligentes onipresentes. A ascensão da IoT possibilita a criação de soluções e serviços diversos que se comunicam e trocam dados através da Internet podendo incorporar inúmeras possibilidades.

Trazendo o conceito de IoT e as complicações provenientes dos gases danosos à saúde, a proposta deste trabalho é desenvolver uma solução IoT para realizar o monitoramento e classificação da qualidade do ar. Para atingir o produto final é necessário determinar as grandezas importantes para classificar o ar de acordo com o Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2018), definir quais sensores serão utilizados para medir essas grandezas a partir de um dispositivo microcontrolador, desenvolver um banco de dados para armazenar os dados que serão coletados e realizar uma análise dos mesmos a fim de mostrar os níveis dos poluentes no ar.

1.1 Objetivos

O objetivo deste trabalho é criar, a partir de sensores de baixo custo, integrados a um microcontrolador em comunicação com o banco de dados, uma forma de medição das grandezas que compõem o ar de um determinado ambiente e possibilitar a realização de análises dos dados coletados e armazenados como séries temporais.

Para alcançar esse objetivo geral, os seguintes objetivos específicos foram definidos:

- Determinar as grandezas a serem medidas para classificar a qualidade do ar e os respectivos sensores a serem utilizados para efetuar cada medição.
- Desenvolver um dispositivo de coleta de dados que integra sensores e uma interface de comunicação sem fios a uma plataforma microcontroladora.

- Desenvolver um banco de dados para que os dados coletados sejam armazenados de forma leve e escalável.
- Organizar os dados no formato de séries temporais para possibilitar possíveis previsões comportamentais.
- Monitorar o ar de um ambiente específico com alertas configuráveis e analisar os dados coletados.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesse capítulo são apresentadas as revisões bibliográficas sobre os principais conceitos que serão abordado e como os mesmos têm relação direta com o tema e a proposta do projeto que será descrita no [Capítulo 3](#).

2.1 Resolução do CONAMA sobre qualidade do ar

Usaremos como referência os Padrões Nacionais de Qualidade do Ar definidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente na resolução 491/2018 para realizar a análise e classificação da qualidade do ar. Qualquer forma de matéria em quantidade, concentração, tempo ou outras características que tornem ou possam tornar o ar nocivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e flora ou prejudicial à segurança é considerada um poluente atmosférico. (BRASIL, 2018).

De acordo com a resolução mencionada, as grandezas a serem medidas para classificar a qualidade do ar de um determinado ambiente são: Material Particulado MP10 (partículas de material sólido ou líquido suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fuligem, entre outros, com diâmetro aerodinâmico equivalente de corte de 10 micrômetros), Material Particulado MP2,5 (diâmetro aerodinâmico equivalente de corte de 2,5 micrômetros), Partículas Totais em Suspensão (diâmetro aerodinâmico equivalente de corte de 50 micrômetros), SO₂ (Dióxido de Enxofre), NO₂ (Dióxido de Nitrogênio), O₃ (Ozônio), Fumaça, Monóxido de Carbono (CO) e Chumbo (Pb₅) (BRASIL, 2018).

A resolução também menciona que os padrões seriam definidos para determinados Períodos de Referência, sendo eles PI-1, PI-2, PI-3 e PF. Na data do desenvolvimento deste documento nos encontramos no PI-1, porém cada período não possui um tempo determinado e pode ser menor ou maior que o anterior. Para os fins deste trabalho, iremos trabalhar utilizando o PI-1 como referência, podendo ser adaptado para o período atual.

As condições definidas como referência são temperatura de 25°C e a pressão de 760mHg. Como podemos ver na [Tabela 1](#), que nos informa qual a concentração dos poluentes que define os padrões de qualidade do ar, a unidade de medida é micrograma por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), com exceção do Monóxido de Carbono que será reportado como partes por milhão (ppm). Já na [Tabela 2](#) nós temos quais os níveis de concentração desses poluentes que devem ser considerados de atenção, alerta e emergência para o ambiente. (BRASIL, 2018)

Tabela 1 – Padrões de qualidade do ar (BRASIL, 2018).

Poluente Atmosférico	Período de Referência	PI-1	PI-2	PI-3	PF	-
		$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	ppm
Material Particulado (MP10)	24 horas	120	100	75	50	-
	Anual ¹	40	35	30	20	-
Material Particulado (MP2,5)	24 horas	60	50	37	25	-
	Anual ¹	20	17	15	10	-
Dióxido de Enxofre (SO ₂)	24 horas	125	50	30	20	-
	Anual ¹	40	30	20	-	-
Dióxido de Nitrogênio	1 hora ²	260	240	220	200	-
	Anual ¹	60	50	45	40	-
Ozônio - O ₃	8 horas ³	140	130	120	100	-
Fumaça	24 horas	120	100	75	50	-
	Anual ¹	40	35	30	20	-
Monóxido de Carbono - CO	8 horas ³	-	-	-	-	9
Partículas Totais em Suspensão (PTS)	24 horas	-	-	-	240	-
	Anual ⁴	-	-	-	80	-
Chumbo - Pb ⁵	Anual ¹	-	-	-	0.5	-

1 - média aritmética anual

2 - média horária

3 - máxima média móvel obtida no dia

4 - média geométrica anual

5 - medido nas partículas totais em suspensão

2.2 O conceito de *Internet of Things* e sua arquitetura

A evolução da tecnologia de comunicação sem fio chegou ao nível de termos uma forma de comunicar objetos que estejam conectados à Internet. Estes objetos com computação integrada, a conexão entre eles através da rede e as suas capacidades de sensoriamento constituem o que chamamos hoje em dia de Internet das Coisas (IoT), tornando objetos simples e complexos, sendo ou não de uso cotidiano, em objetos inteligentes (HOU et al., 2016).

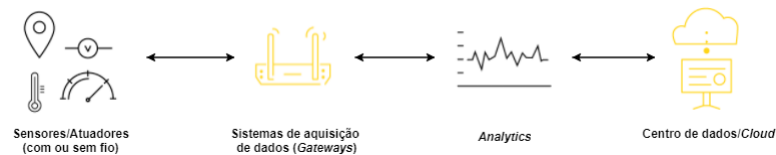
Podemos descrever a arquitetura IoT separando-a em quatro camadas, as quais podem ser vistas no diagrama da Figura 1 e iremos tratar cada uma de forma detalhada a seguir.

Tabela 2 – Níveis de atenção, alerta e emergência para poluentes (BRASIL, 2018).

Nível	Poluentes					
	SO ₂ μg/m ³ *	MP10 μg/m ³ *	MP2,5 μg/m ³ *	CO ppm ⁺	O ₃ μg/m ³ ⁺	NO ₂ μg/m ³ [§]
Atenção	800	250	125	15	200	1130
Alerta	1600	420	210	30	400	2260
Emergência	2100	500	250	40	600	3000

*: média de 24h; +: média móvel de 8h; §: média de 1h.

Figura 1 – Diagrama da arquitetura IoT



Autor: (AVSYSTEM, 2020).

2.2.1 Sensores/Atuadores

Dentre os dispositivos conectados a uma rede IoT, os sensores são a base para o fornecimento dos dados, que são a captação dos parâmetros físicos no mundo exterior ou até mesmo podendo ser parâmetros do próprio objeto em questão, sendo eles dispositivos próprios ou objetos autônomos de coleta e medição de dados. Um exemplo da aplicação que será implementada neste trabalho é todo o conjunto de sensores que serão usados para medir as grandezas que compõem e classificam o ar, tanto quanto as condições do mesmo como temperatura e pressão atmosférica.

Outro tipo de dispositivo que pode estar presente são os atuadores, que são os responsáveis por realizar uma ação física a partir dos dados medidos ou gerados pelos objetos inteligentes e sensores da rede. No caso da aplicação deste trabalho, poderíamos por exemplo colocar um alarme para disparar um alerta sonoro ou luminoso quando alguma das grandezas que estão sendo medidas passarem do limite de concentração que classificaria o ar como próprio.

Todos os objetos conectados devem ser capazes de comunicar-se entre si através de seus *gateways* ou sistemas de aquisição de dados de forma bidirecional, a fim de transmitir as informações em tempo real para que a aplicação IoT atinja seu objetivo e realize sua função em um determinado contexto. (AVSYSTEM, 2020)

2.2.2 Gateway

Os *gateways* são considerados os intermediários entre os módulos de coleta de dados e a conexão com a nuvem, sendo assim um ponto de ligação necessário para todas as camadas restantes. Eles se responsabilizam por determinar a capacidade das transferências pela rede, selecionar e priorizar os dados a serem transmitidos dentre as inúmeras entradas e saídas de vários dispositivos que podem estar simultaneamente conectados na rede.

O artigo “What is IoT architecture?”, publicado em 2019, define bem a funcionalidade dos *gateways*:

“Sentados à beira do mundo das OT (Tecnologias operacionais) e IT (Tecnologias da informação), os *gateways* facilitam a comunicação entre os sensores e o resto do sistema, convertendo os dados dos sensores em formatos que são facilmente transferíveis e utilizáveis para outros componentes do sistema. Além disso, são capazes de controlar, filtrar e selecionar dados para minimizar o volume de informação que precisa ser encaminhado para a nuvem, o que afeta positivamente os custos de transmissão da rede e os tempos de resposta. Assim, os *gateways* fornecem um lugar para o pré-processamento local dos dados dos sensores, que são reduzidos a ponto de se tornarem mais úteis para processamento posterior.” (AVSYSTEM, 2020)

Uma das mais importantes funções dos *gateways* é a segurança da rede IoT. Como eles são responsáveis pelo fluxo dos dados e informações que vem de todos os sentidos, evitam a possibilidade de vazamentos desses dados armazenados na nuvem e reduzem o risco de possíveis ataques externos e maliciosos, juntamente com a ajuda de ferramentas de criptografia.

2.2.3 Edge Analytics

Embora não seja uma componente obrigatória de toda arquitetura IoT, a computação de borda (ou *edge analytics*) é uma abordagem de coleta e análise de dados na qual, ao invés de esperar que as informações sejam processadas na central de dados, esta análise ocorre de forma automatizada no próprio dispositivo, podendo ele ser um sensor, um *switch* de rede, etc. (POSEY, 2020)

Dentre os benefícios do uso da *edge analytics*, podemos citar a análise de dados realizada praticamente em tempo real no próprio dispositivo sem necessitar da espera do tempo de transmissão dos dados. Ela permite uma escalabilidade natural, pois a carga de trabalho é dividida, uma vez que cada dispositivo realiza sua própria análise. Além disso, ela providencia uma possível redução dos custos gerais do sistema relacionados ao armazenamento de dados para análise, adiciona um nível maior de segurança por reduzir

as transmissões necessárias e mantém os dados base do sistema nos dispositivos que os coletaram/criaram. (POSEY, 2020)

2.2.4 Central de dados/Plataforma na nuvem

“Se os sensores são neurônios e o *gateway* é a espinha dorsal da IoT, então a nuvem é o cérebro da IoT.” (AVSYSTEM, 2020)

A central de dados é onde os grandes volumes de informações vindas do sistema podem ser armazenadas, processadas e analisadas para atender as necessidades da aplicação fazendo o uso da rede em nuvem. Normalmente são atrelados a mecanismos de aprendizagem de máquina e algoritmos de análise, fazendo que a sua presença seja ainda mais importante, pois os dispositivos em si não suportariam essas formas mais avançadas de análise.

Na aplicação deste trabalho, será de extrema importância ter uma central de dados para comunicar com as interfaces e *dashboards* que irão mostrar os dados em tempo real para o usuário final, tanto quanto poder realizar a classificação da qualidade do ar ao longo do tempo e permitindo uma análise detalhada das séries temporais dos dados utilizando determinadas técnicas, que serão abordadas na próxima seção.

2.3 Análise de Séries Temporais

As medições feitas pelos sensores da rede IoT implicam na geração de séries temporais de dados, sendo assim o ponto chave para expandir a análise e estudo baseado nas informações que podemos reunir na aplicação em questão. A partir do que for apresentado nas séries, podemos por exemplo prever o comportamento de futuras medições, fazendo uso de inúmeras formas de analisar as tendências dos dados.

A seguir será descrito o que pode ser definido como uma série temporal de dados, assim como a citação de alguns exemplos de técnicas e formas de análise que poderão ser utilizadas neste trabalho para criar previsões e definições a partir das informações coletadas ao longo do tempo pela aplicação que irá medir e classificar a qualidade do ar.

Colocando de forma simples, podemos chamar de série temporal uma coleção de observações de uma ou mais informações que sejam variáveis feitas sequencialmente ao longo de um determinado período de tempo. As séries temporais são de grande atuação em áreas como economia, marketing, finanças, demografia, meteorologia, epidemiologia, etc. São utilizadas técnicas de análise para atender qual seja o propósito da medição destas séries, seja para prever o mercado financeiro, comportamentos sociais ou até mesmo as variações da qualidade do ar em um local ou região.

Podemos definir que uma previsão acontece quando a informação é transferida através do tempo, e normalmente para pontos específicos no tempo, gerando modelos estatísticos para simulações estocásticas que geram versões alternativas daquela série temporal, representando o que poderia acontecer em períodos não específicos no futuro. (WIKIPEDIA, 2022c)

Um exemplo simples para a predição de séries de longo comprimento é a análise de tendências, no qual se utiliza dos modelos linear, quadrático, crescimento ou decrescimento exponencial e de curva S de tendência. Usado para prever a tendência quando não temos uma componente sazonal na série a ser analisada. (MINITAB, 2022)

Previsões em séries temporais normalmente são feitas com o uso de pacotes de softwares específicos e linguagens de programação como *Julia*, *Python*, *R*, *SAS*, *SPSS*, etc. Alguns dos processos presentes na teoria das previsões incluem a segmentação da série temporal, a estimação do sinal e a sua classificação. (WIKIPEDIA, 2022c)

2.4 Rede LoRaWAN

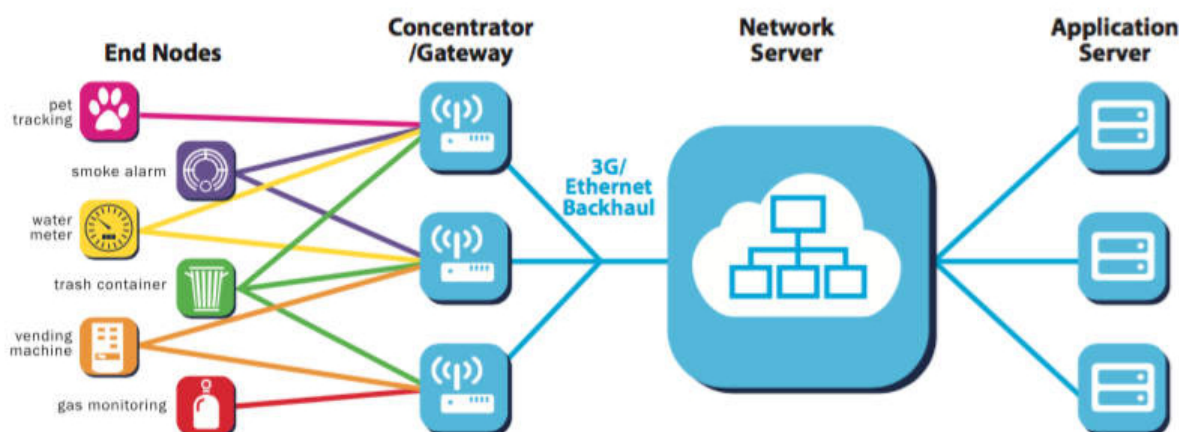
LoRaWAN é um protocolo de comunicação entre os dispositivos de um sistema (principalmente IoT) através da tecnologia de rádio frequência LoRa, permitindo comunicação a longas distâncias com baixo consumo de energia, considerada uma LPWAM (*Low Power Wide Area Network*). Dentre as principais características da rede LoRa, podemos destacar:

- Cobertura de longo alcance (Chegando a mais de 15 Km).
- Permite grande capacidade de nós na rede.
- Baixa interferência de ruídos.
- Baixo consumo de energia.

Como pode ser visto na [Figura 2](#), cada nó é um dispositivo que possui um módulo LoRa tendo a capacidade de transmitir e receber sinais dos *gateways*, porém os nós não estão associados a um *gateway* específico, em vez disso, os dados transmitidos por um nó geralmente são recebidos por vários *gateways*, os quais recebem as informações e as transmitem para um servidor local ou remoto.

Os nós de uma rede LoRaWAN se comunicam de forma assíncrona, ou seja, quando possuem dados prontos para envio, sejam eles controlados por eventos ou agendados. Esse tipo de protocolo geralmente é chamado de método Aloha. Em uma rede *mesh* ou com uma rede síncrona, como celular, os nós frequentemente precisam “acordar” para sincronizar com a rede e verificar se há novas mensagens, gerando um alto consumo de energia.

Figura 2 – Diagrama da arquitetura da rede LoRa



Autor: (ROBOCORE, 2022).

Existe um ecossistema colaborativo global de IoT chamado *The Things Network*, que cria redes, dispositivos e soluções fazendo uso da LoRaWAN. Após registrar uma conta e definir as configurações da aplicação, este ecossistema é utilizado para criarmos uma forma prática de receber dados, além de fonte para outras aplicações receberem as informações contidas nesses objetos transmitidos através da rede LoRa (STACK, 2022).

2.5 MQTT

O *Message Queue Telemetry Transport*, ou MQTT, é um protocolo de comunicação com foco em IoT, desenvolvido em 1998 pela IBM, seguindo o formato de troca de mensagens *Publisher-Subscriber*. Suas principais características são sua simplicidade, a comunicação assíncrona e a garantia na entrega dos dados. (WIKIPEDIA, 2022a)

O MQTT faz uso de duas entidades na rede: os clientes e um *message broker*. O *broker* é um servidor que concentra as informações dos clientes, recebendo as mensagens dos clientes e transmitindo-as para os clientes de destino. Um cliente é qualquer coisa que possa interagir com o *broker*, recebendo e transmitindo mensagens na rede. Já o cliente publica as mensagens em um tópico, enviando-os para o *broker*, em seguida, o *broker* encaminha a mensagem para todos os clientes que assinaram o tópico. (MQTT, 2022)

2.6 Node-RED

O Node-RED é uma ferramenta de código aberto totalmente visual e feita pela *IBM Emerging Technology*, desenvolvida para implementar, criar e/ou conectar dispositivos IoT, também se estendendo para usos em *hardwares*, APIs e *web services*. (WIKIPEDIA, 2022b)

Ele faz uso de um editor no próprio navegador, simples e compatível com todos os *web browsers*, fazendo uso de nós (ou *nodes*) para conectar os fluxos da aplicação. O Node-RED se destaca por possibilitar o desenvolvimento de aplicações em qualquer sistema operacional, tendo apenas como dependência a instalação do módulo Node.js na máquina.

O Node.js é um nó compilado que habilita a programação na linguagem *Java Script* dentro de um editor fazendo uso de *rich text*. Existem cerca de 40 nós inclusos com o Node-RED, porém é possível adicionar mais nós para diversas funcionalidades como: clouds, dashboards, sensores, *Inputs/Outputs*, funções, acesso a mídias sociais, bancos de dados, etc. Neste trabalho podemos destacar dois nós principais que são o nó *MQTT* e o nó de inserção de dados no banco.(BASÍLIO, 2021)

O nó *MQTT* é utilizado para receber os dados transmitidos pelo dispositivo micro-controlador que faz a leitura dos gases a partir dos sensores através da rede LoRa, enquanto o nó de inserção de dados realiza o armazenamento dessas informações decodificadas e transcritas no formato Json.

2.7 InfluxDB

InfluxDB é um banco de dados de código aberto com alta performance escrito na linguagem de programação *Go* e desenvolvido pela *InfluxData*, focado em armazenar dados no formato de séries temporais para aplicações em áreas como monitoramento de operações, dados coletados de sensores IoT e análises em tempo real(NAIR, 2021).

O banco possui suporte para armazenamento nativo de informações no formato Json, criando automaticamente as tabelas e inserindo os dados como séries temporais, além de ser facilmente configurável e leve para ser instanciado(INFLUXDATA, 2022).

Uma outra grande vantagem no uso do InfluxDB é a disponibilidade através do módulo no Node-RED e a integração nativa com o aplicativo de visualização de dados Grafana, permitindo que os dados transmitidos pela aplicação sejam armazenados e mostrados na interface do usuário em tempo real.

2.8 Grafana

O Grafana é uma plataforma web de código aberto para visualização e análise gráfica de dados com suporte a séries temporais e configuração de alertas. Os dados podem ser configurados para serem acessados de diversos tipos compatíveis de bancos de dados, como o InfluxDB, MySQL e PostgreSQL(SHIVANG, 2022).

Podemos configurar a aplicação para mostrar as informações do banco nos formatos de tabelas, gráficos e listas. Além de permitir personalizar a *dashboard* da forma que o

usuário preferir, sendo bastante utilizado por sistemas de monitoramento, gerando seus gráficos em tempo real.

Algumas vantagens do Grafana que justificam o seu uso no projeto, juntamente com o que já foi citado, são o fato dele ser gratuito, a possibilidade de fazer download dos dados de cada gráfico em formato CSV e, mesmo sendo similar ao Node-RED na exibição de dados, por ser especializado nisso ele possui mais funcionalidades, além de ter integração nativa com o InfluxDB. Isso permite maior liberdade para explorar suas funcionalidades e o tornando ideal para mostrar os dados coletados de sensores.

2.9 Soluções Existentes

Durante a pesquisa para a confecção do presente trabalho, pôde-se notar que no mercado já existe uma série de produtos que se propõem a monitorar e medir os índices de qualidade do ar. A partir disso, neste tópico serão apresentadas algumas destas soluções, suas principais características e diferenças, além de estabelecer uma comparação com a proposta deste trabalho.

A primeira delas é o *Portable Air Quality Monitor - Series 200* da empresa *Aeroqual*, que se trata de uma ferramenta que mede a concentração em tempo real de um determinado poluente, variando em até 30 diferentes poluentes dependendo do sensor que estiver conectado ao aparelho. Outra vantagem deste produto é o fato dele ser portátil, podendo medir ambientes internos e externos sem dificuldades. (AEROQUAL, 2022)

Outra solução encontrada foi a *Air Quality Station* da empresa *Libelium*, contando com cinco sensores de gases para medir simultaneamente os principais poluentes, como CO, NO₂, NO, O₃ e SO₂. Além disso, o dispositivo conta com conexão à *Libelium Cloud* para o envio dos dados através de redes móveis 4G e uma estrutura robusta e resistente às adversidades climáticas. (LIBELIUM, 2022)

Por fim, temos a *uHoo Smart Air*, focada em ambientes internos como casas e apartamentos, possui uma grande variedade de sensores e uma interface de fácil entendimento para seus usuários visualizarem as medições através de um aplicativo para celular. Como um grande diferencial, ela conta com algo chamado pela empresa de “Índice de Vírus”, que mede a probabilidade de um vírus sobreviver em um determinado ambiente e se o ar tem menos ou mais chances de espalhar um vírus. (UHOO, 2022)

Uma comparação entre as características dos produtos citados e a proposta deste trabalho, que será abordada mais a fundo no próximo capítulo, pode ser vista na [Tabela 3](#), onde podemos notar que, além de termos uma solução que possui características semelhantes às outras soluções já citadas, poderá ter um desempenho e qualidade similar com um custo de produção altamente reduzido.

Tabela 3 – Soluções existentes e proposta do trabalho.

Produto	Sensores	Gases Medidos Simultaneamente	Portátil	Conexão Externa	Ambientes	Medidas CONAMA	Custo Aprox.
Portable Air Quality Monitor - Series 200	30	1	Sim	Cabo USB	Internos e Externos	9/9	\$ 750
Libelium Air Quality Station	5	5	Não	4G	Externos	4/9	N/D
uHoo Smart Air	6	6	Não	Wi-fi	Internos	5/9	\$ 329
Solução proposta pelo trabalho	5	5	Não	LoRaWAN	Inicialmente Internos	5/9	R\$ 200,00

Alguns detalhes importantes que podem ser notados na tabela são a questão da diferença entre a quantidade de gases que serão medidos simultaneamente, no qual a solução que será proposta conta com cinco medições, o fato que mesmo que haja necessidade de adaptar a escalabilidade da solução com componentes de maior qualidade, ainda faria com que fosse o produto de menor custo dentre os citados nessa pesquisa, além de ser a opção mais condizente com as definições mais atuais do CONAMA para grandezas que definem e categorizam a qualidade do ar, sendo elas: partículas totais em suspensão, fumaça, MP10, MP2.5, CO e NO₂.

3 DESENVOLVIMENTO DA SOLUÇÃO

Levando em conta todas as informações que foram abordadas até então, pode-se dizer que não há no mercado uma solução que atenda os requisitos abordados na resolução 491/2018 do CONAMA a um preço acessível. Portanto a solução proposta neste trabalho terá sua confecção visando atender principalmente esses requisitos, além de outros que serão apresentados ao longo deste capítulo.

A estrutura deste capítulo será composta de todos os requisitos do projeto, divididos entre funcionais e não-funcionais, um diagrama detalhado da solução, uma lista dos sensores adquiridos e os respectivos gases que eles medem e todas as etapas do desenvolvimento da solução proposta, incluindo as dificuldades encontradas e alterações necessárias para o sucesso do projeto.

3.1 Análise de Requisitos

3.1.1 Requisitos funcionais

RF01: Medir e transmitir dados de vários sensores simultaneamente num microcontrolador.

RF02: Armazenar dados dos sensores como séries temporais em um banco de dados.

RF03: Gerenciar acesso por usuários.

RF04: GUI para explorar dados das séries temporais graficamente e em tabelas.

RF05: Análise de séries temporais e predição de comportamentos.

RF06: Gerenciar o cadastro de várias estações de monitoramento.

3.1.2 Requisitos não-funcionais

RNF01: Custo baixo (Max. R\$600).

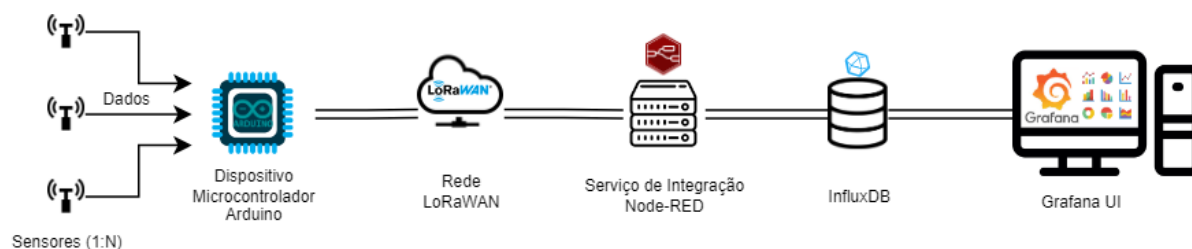
RNF02: Baixo consumo de energia (bateria deve durar ao menos 7 dias sem recarga).

RNF03: Interface de fácil utilização.

RNF04: Atender aos padrões de qualidade do ar do órgão CONAMA.

RNF05: Possuir alertas configuráveis.

Figura 3 – Diagrama de funcionamento do projeto.



Fonte: Próprio autor.

3.2 Arquitetura do projeto

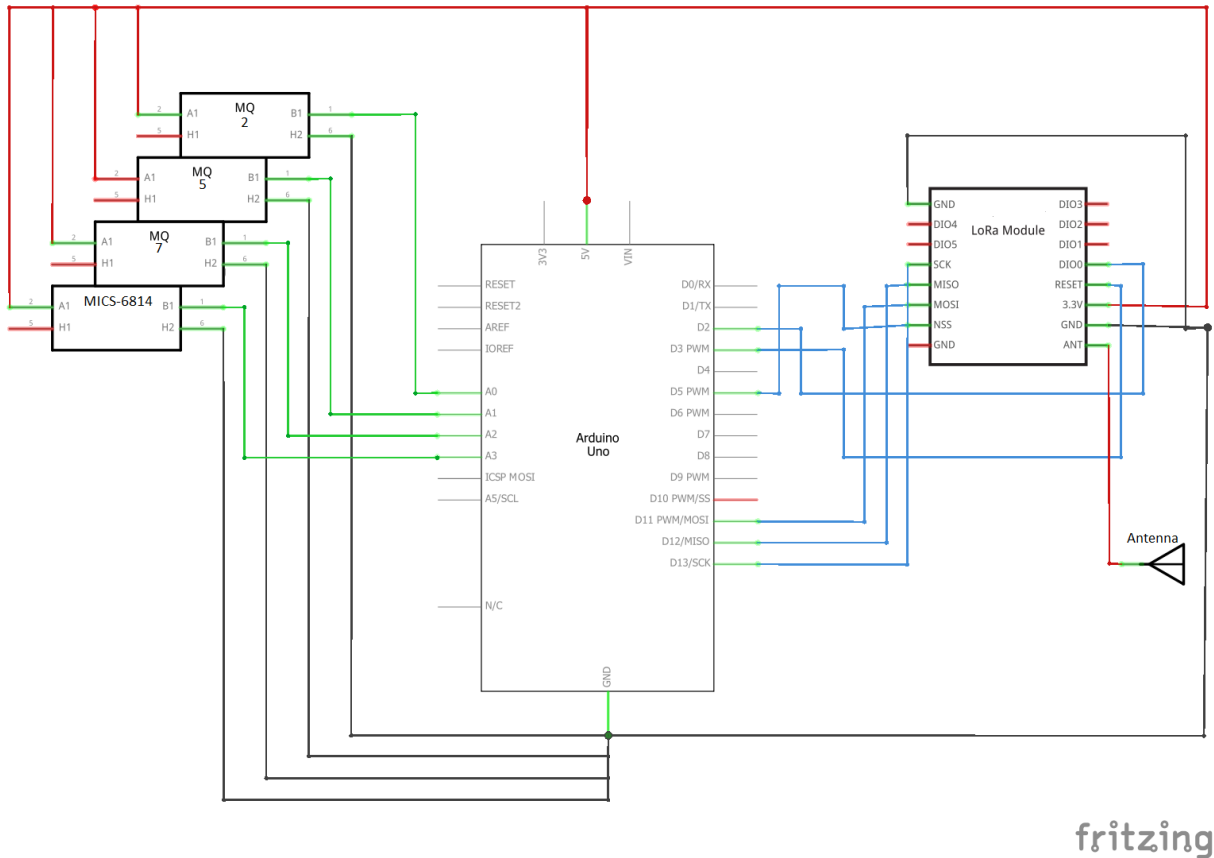
Como pode ser visto na [Figura 3](#), a arquitetura final tem quatro módulos, consistindo de:

- Um microcontrolador integrado com os sensores para a medição dos gases/grandezas definidos na pesquisa, enviando dados através da rede LoRaWAN.
- Uma serviço Node-Red responsável por realizar a integração entre a TTN e o banco de dados. O serviço inclui um módulo MQTT conectado à *The Things Network* para receber os dados dos sensores, filtrando as informações do Json recebido e as encaminhando para o módulo do banco de dados.
- Um banco de dados InfluxDB onde as informações são armazenadas no formato de séries temporais através do Json recebido do módulo integrado na aplicação Node-Red.
- Uma instância do Grafana, aplicativo com interface gráfica que possui integração nativa com o banco, utilizando controle de acesso com login e senha para visualizar e analisar os dados.

3.3 Dispositivo de medição de poluentes

Para a confecção do dispositivo que realiza as medições dos poluentes, foi utilizado um microcontrolador do modelo Arduino UNO R3, por motivos de disponibilidade e manter o custo baixo, juntamente com um módulo LoRa para a transmissão dos dados inAir9B, que por ter sido disponibilizado pelo IFSC, colaborou em justificar o uso da tecnologia. O Arduino é um microcontrolador ATmega328, possuindo uma memória *flash* de 32KB e 2KB de memória dinâmica reservado para variáveis, seis portas analógicas e vinte digitais podendo operar de 3V a 5V.

Figura 4 – Esquemático da montagem do dispositivo.



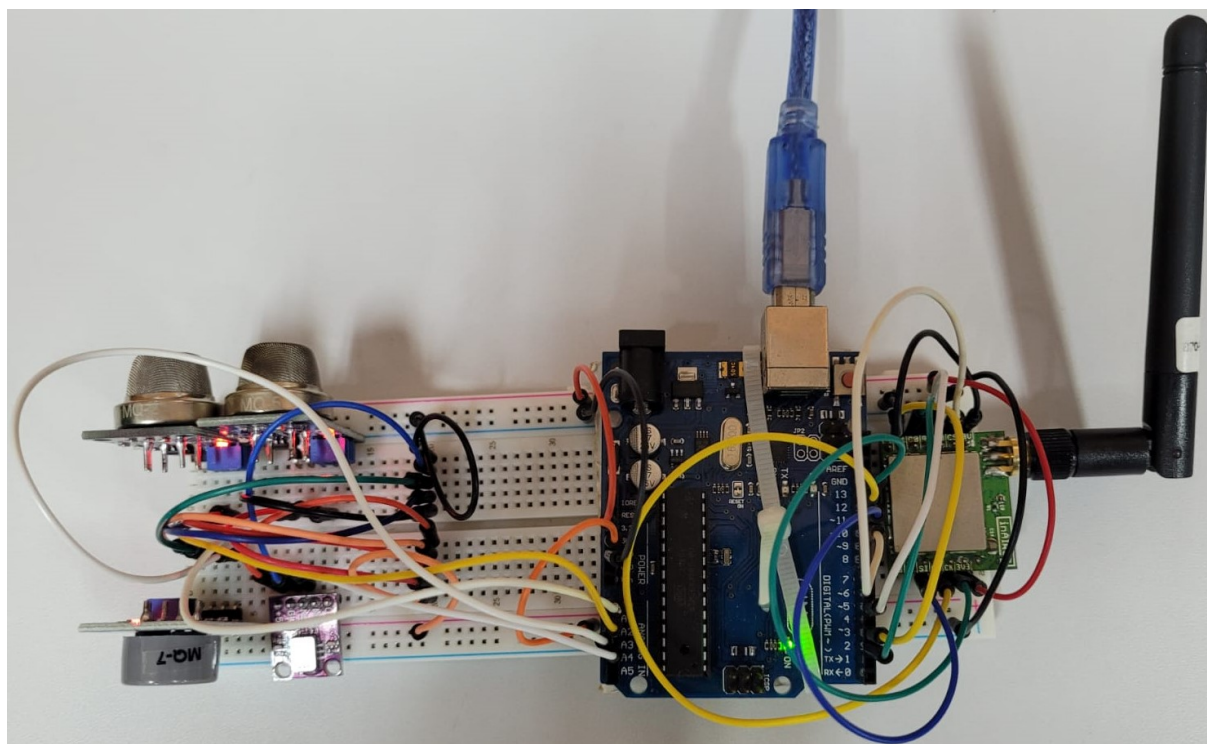
Fonte: Próprio autor.

Os sensores com os menores valores encontrados nas pesquisas que foram adquiridos podem ser vistos na Tabela 4, porém por conta de um engano na compra dos sensores, os sensores MQ-5 e MQ-7 ficaram com a mesma utilidade em relação aos gases mencionados pela resolução do CONAMA. Para fazer uso do sensor MQ-7 juntamente com o MQ-5, foi feita uma pesquisa por poluentes relevantes fora da resolução e decidido que um vai medir monóxido de carbono (CO) e o outro medirá o gás metano, por ser uma das opções que o sensor mede e também é considerado um poluente relevante. Um esquemático representando o protótipo desenvolvido pode ser visto na Figura 4 e uma foto do mesmo em seguida na Figura 5.

Tabela 4 – Sensores adquiridos.

Modelo	MP10	MP2,5	SO ₂	NO ₂	Fumaça	CO	PTS	Pb
MICS-6814	-	-	-	X	-	X	-	-
MQ-7	-	-	-	-	-	X	-	-
MQ-2	-	-	-	-	X	-	-	-
MQ-5	-	-	-	-	-	X	-	-
DSM501A	X	X	-	-	-	-	-	-

Figura 5 – Foto do dispositivo final.



Fonte: Autor próprio.

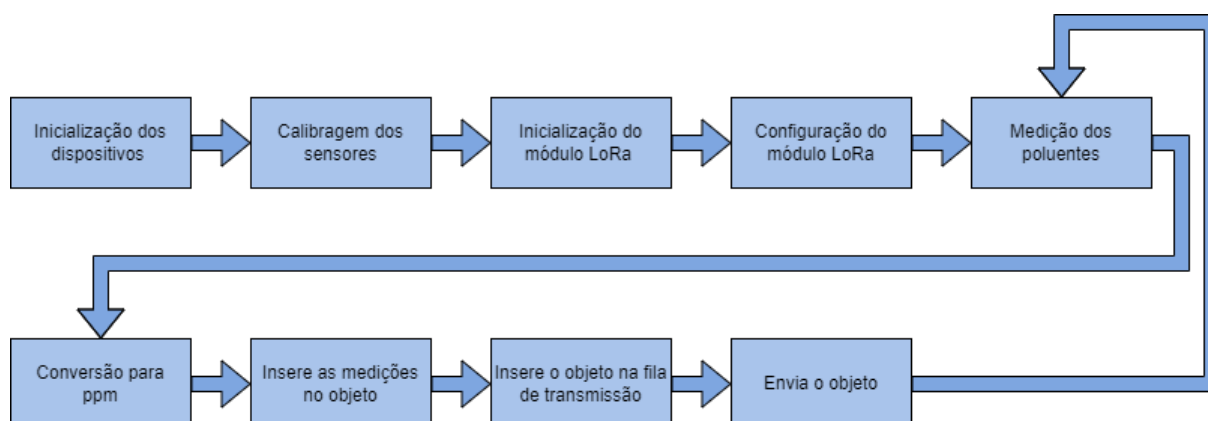
Durante o desenvolvimento do programa para o microcontrolador, foi usada a IDE do Arduino para escrever o código-fonte, por ser simples e carregar facilmente no dispositivo. Uma das dificuldades para essa etapa do projeto, por conta dos sensores MQ e MICS serem analógicos, foi encontrar uma forma para converter os valores trazidos dos sensores para alguma forma conhecida de concentração, criando a necessidade do uso de bibliotecas que convertem o valor analógico medido dos sensores MQ para as concentrações em ppm, além de separar corretamente a porcentagem do valor medido que representa cada gás. Uma biblioteca similar foi encontrada para o sensor MICS, porém o dispositivo disponibilizado não possuía memória suficiente para todas as bibliotecas e variáveis globais, então não pôde ser utilizada nesse projeto e o valor foi mantido em formato analógico. A biblioteca dos sensores MQ, chamada de *Gassensors*¹ foi usada para os sensores MQ-2, MQ-5 e MQ-7, enquanto a biblioteca Arduino-Grove-MultichannelGasSensor² foi usada para o sensor MICS-6814.

O sensor DSM501A é um sensor que retorna os valores de partículas suspensas e poeira, utilizando uma forma de leitura digital mais complexa que os sensores MQ, consequentemente consumindo mais memória que os quatro sensores analógicos juntos. Sendo assim, foram removidos os sensores MQ para validar as medidas deste sensor individualmente. Posteriormente, foram recolocados os quatro sensores analógicos para

¹ Disponível em <<https://github.com/mdsiraj1992/Gassensors/tree/master/arduino%20codes>>.

² Disponível em <<https://github.com/ostaquet/Arduino-Grove-MultichannelGasSensor-driver>>.

Figura 6 – Fluxograma do programa feito no Arduino.



Fonte: Próprio autor.

medir mais poluentes simultaneamente, deixando o sensor digital de lado para a versão final.

O programa final, que está disponível no meu repositório do Github³, ficou com o fluxo de operação apresentado na Figura 6. Ele inicia todos os dispositivos do Arduino e os sensores, utiliza as funções específicas das bibliotecas para realizar um processo que foi chamado de "calibragem", porém apenas faz a definição dos parâmetros da curva de conversão, inicializa o módulo LoRa e o configura, inicia a leitura das portas analógicas do Arduino para receber os valores medidos pelos sensores, chama as funções que separam corretamente qual a concentração correta de determinado poluente em ppm, insere os dados coletados num objeto em *bytes*, que é colocado na fila de transmissão para ser finalmente enviado para a aplicação em Node-RED e, após um *delay* de um minuto, volta para a etapa de leitura das medições dos sensores e realizando o processo todo novamente em *loop*.

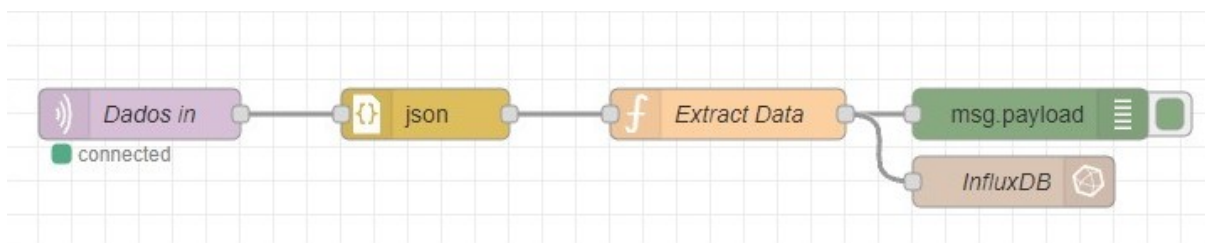
3.3.1 Configuração da aplicação na The Things Network

Como já foi mencionado, a ponte entre o dispositivo transmissor que faz as leituras dos sensores e a aplicação Node-RED é a aplicação no ecossistema da *The Things Network*, onde o ambiente é todo configurado para receber o objeto transmitido e decodifica os bytes da *payload* para informações que possamos entender e passar adiante.

A configuração foi feita para os dados serem enviados ao *gateway* LoRa situado no IFSC Campus São José, onde a função decodificadora dos bytes do objeto, feita em *Java Script*, coloca-os em pares, invertendo os *bytes* de cada par e realizando um *shift* para a esquerda no primeiro byte do par invertido para finalmente obtermos os valores corretos medidos pelos quatro sensores.

³ Disponível em <https://github.com/adonismarinós/TCC_AQS>.

Figura 7 – Diagrama da aplicação na interface do Node-RED.



Fonte: Próprio autor.

3.4 Integração via Node-RED

O módulo Node-RED tem como suas principais funções: receber os dados vindos do dispositivo que realiza as medições, colocar as informações em formato Json, filtrar essas informações e colocá-las num formato compatível com as tabelas do banco e por fim armazená-las na instância do InfluxDB. O diagrama dos nós responsáveis por cada uma destas funções pode ser visto na Figura 7.

O nó MQTT “Dados in” é o responsável por se conectar ao dispositivo remotamente através da *The Things Network*, receber e passar a mensagem contendo os dados para o nó seguinte, sendo ele o que converte os dados para o formato Json e assim encaminha o objeto para o nó contendo a função *Java Script* que extrai as medidas e identificadores para serem armazenados no banco de dados através do nó de inserção integrado e conectado com o InfluxDB.

3.5 Banco de dados InfluxDB

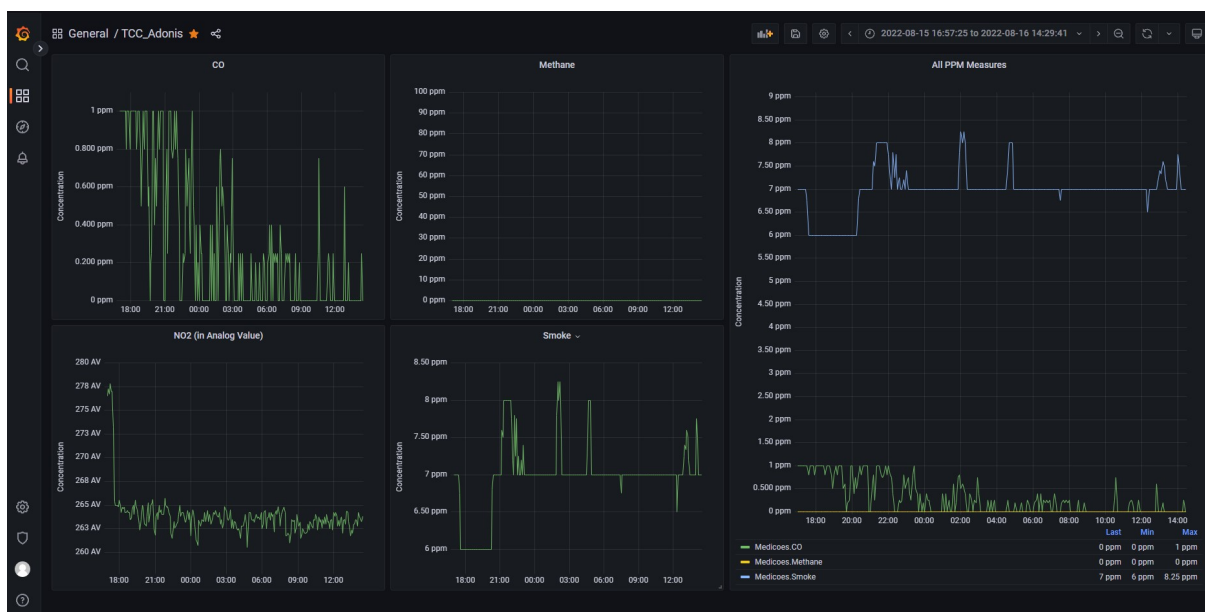
A escolha do banco de dados ser um InfluxDB foi feita por ele possuir todas as características necessárias para esse projeto: aceita objetos no formato Json para criação automática de tabelas, integração com Node-RED para armazenamento e leitura, integração nativa com o aplicativo de visualização e análise de dados Grafana, além de ser fácil de instanciar, configurar e navegar pelas tabelas.

Os dados foram configurados para serem inseridos no banco a cada minuto, colocados de forma automática nas suas colunas de acordo com o objeto Json recebido, no caso do projeto foram organizadas com os identificadores do dispositivo de origem seguidos dos valores das concentrações dos respectivos gases.

3.6 Grafana

O *dashboard* foi organizado com os gráficos individuais da medição de cada gás, acompanhados de um gráfico comparativo de todos sendo medidos simultaneamente,

Figura 8 – Interface do Grafana.



Fonte: Próprio autor.

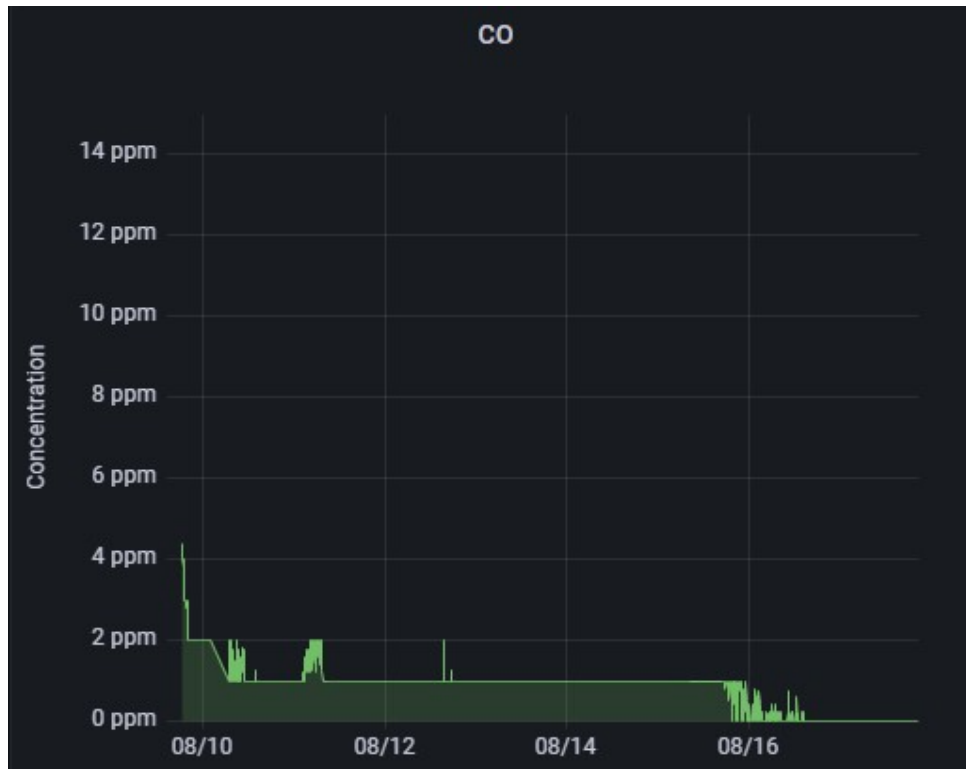
conforme a Figura 8, todos com alertas configurados para valores considerados acima do aceitável pela resolução do CONAMA. A única dificuldade encontrada nessa etapa do desenvolvimento do projeto foi aprender como utilizar as *queries* do InfluxDB para o Grafana, mas por serem bem similares a uma *query* comum do MySQL, não foi difícil de se adaptar.

3.7 Resultados

O protótipo final do dispositivo teve um custo de produção aproximado de R\$486 e ficou fazendo leituras do ar do Laboratório de Iniciação Científica do IFSC Campus São José ao longo um tempo total de dez dias. Entretanto, de acordo com os dados obtidos pudemos ver, como está representado nas Figuras 9 e 10, que os sensores de CO e fumaça demoraram algumas horas para ficarem calibrados e entregarem os valores com maior exatidão, sendo bem constantes durante a maior parte do período analisado. Houveram pequenos períodos que puderam ser notadas alterações nos valores, normalmente na parte da tarde/noite e quando era perceptível que haviam queimadas nas redondezas, porém nada que pudesse chamar a atenção ou disparar os alertas configurados.

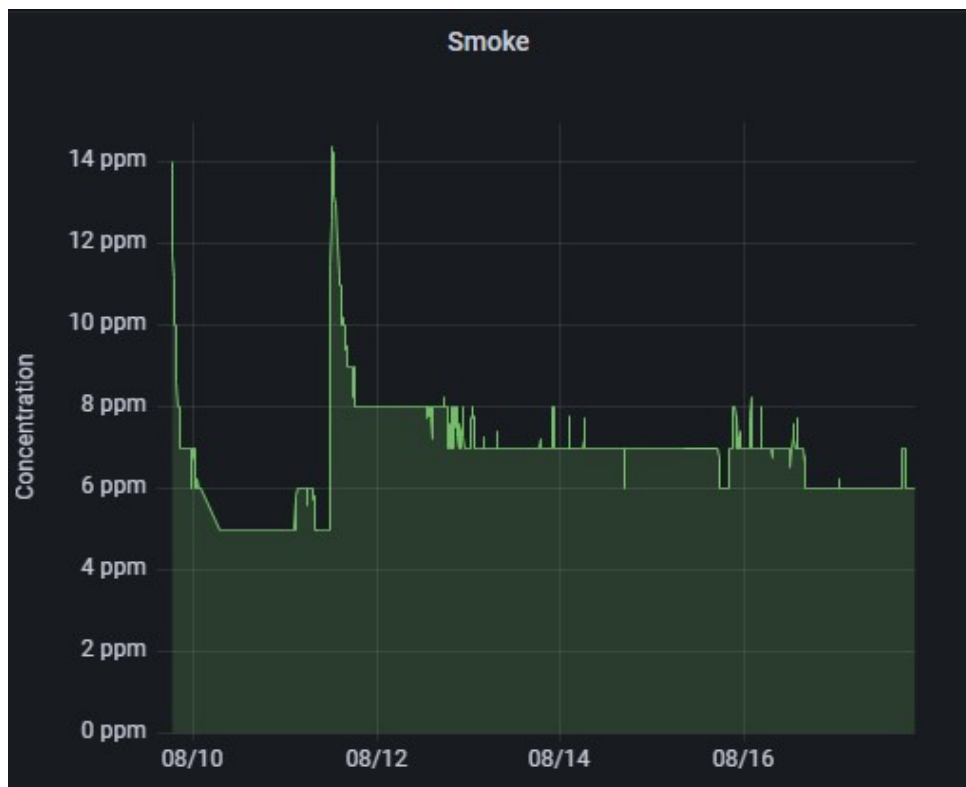
Como a sala ficou fechada até os últimos dias do experimento e não houve circulação de pessoas no ambiente, por serem as férias dos estudantes e professores, não houve nada que pudesse intervir com o funcionamento do dispositivo e os valores das medições, porém já que os sensores foram testados corretamente antes de serem colocados para o experimento, podemos assumir que as medidas estavam corretas durante o período analisado.

Figura 9 – Gráfico da concentração de CO durante o período analisado.



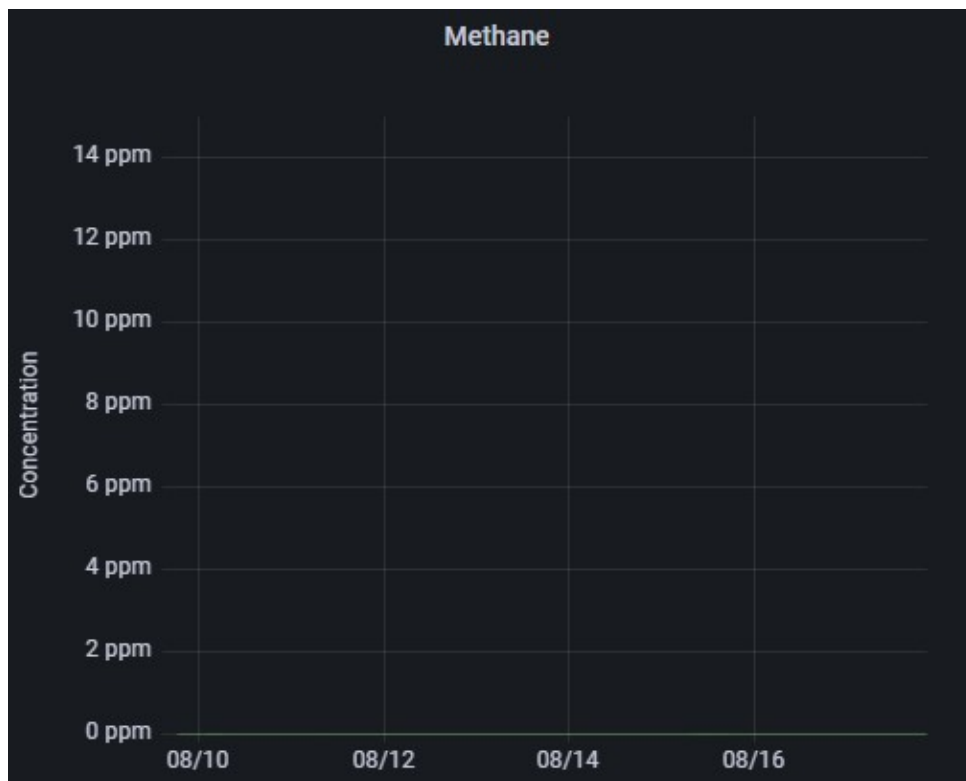
Fonte: Próprio autor.

Figura 10 – Gráfico da concentração de fumaça durante o período analisado.



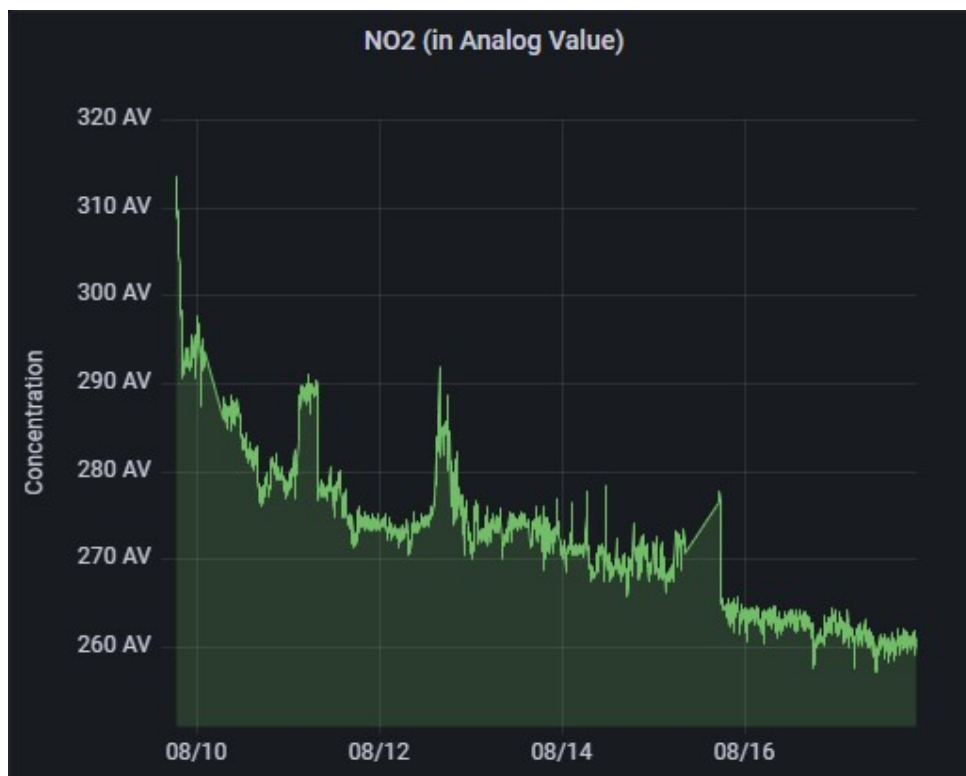
Fonte: Próprio autor.

Figura 11 – Gráfico da concentração de metano durante o período analisado.



Fonte: Próprio autor.

Figura 12 – Gráfico da concentração de NO2 durante o período analisado.



Fonte: Próprio autor.

O único gás que não teve alteração nas suas medições em todo o experimento foi o metano, como é informado na Figura 11, justamente por ser muito difícil de ocorrer alguma ocorrência de vazamento deste gás, então era esperado que não fosse ocorrer nenhuma mudança nos gráficos.

O sensor medidor de NO₂ também teve um comportamento muito similar com os dois primeiros mencionados nesta seção. Como podemos ver na Figura 12, ele iniciou com um valor mais alto até dar o tempo do sensor calibrar corretamente e entregar valores mais exatos. Sendo um gás que também vem principalmente de combustões (exemplos: motores em geral, usinas termoelétricas, fábricas de papel), ele sofreu pequenos aumentos nos mesmos instantes onde tivemos queimadas na região e não teve uma alteração significativa para disparar alertas ou ser preocupante, mas como ele está sendo medido no valor analógico original do sensor, é mais difícil de notar uma constância nas suas medições.

4 CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos, podemos concluir que o objetivo principal do projeto de criar, a partir de sensores integrados a um microcontrolador em comunicação com o banco de dados, uma forma de medição das grandezas que compõem o ar de um determinado ambiente e possibilitar a realização de análises dos dados coletados e armazenados como séries temporais, foi atingido. A solução desenvolvida é genérica e versátil, podendo suportar mudanças nos sensores utilizados sem alterar o funcionamento do dispositivo, realiza as medições de alguns dos poluentes citados na resolução mais recente do CONAMA, transmite e armazena os dados das medições no formato de séries temporais, permitindo que o Grafana apresente-as de forma gráfica para análises de diversas formas.

Ao longo do processo de desenvolvimento, todos os objetivos específicos foram atingidos. A resolução mais recente do CONAMA informou quais são as grandezas a serem medidas e, além disso, a partir das pesquisas realizadas foram identificados quais seriam os sensores com melhor relação custo-benefício que medem cada grandeza. A montagem e validação do funcionamento do dispositivo coletor de dados integra os sensores comprados e uma interface de comunicação no microcontrolador Arduino. O banco de dados InfluxDB instanciado é leve e escalável, recebendo dados no formato Json e organizando-os em séries temporais. Por fim, o Grafana é utilizado para monitorar o ar de um ambiente específico, com alertas configuráveis e permite a análise dos dados coletados ao longo de um período específico.

Um ponto fraco do projeto foi que o período pelo qual o protótipo final ficou ligado realizando as medições foi menor do que o desejado, assim como teria sido melhor ter feito todo o dispositivo com um microcontrolador com pelo menos duas vezes a memória de programa (64KB) e memória dinâmica (4KB) (uma alternativa ainda de baixo custo e que possui muito mais memória seria um microcontrolador ESP32) para suportar mais sensores com estabilidade do sistema e, conseqüentemente mais medições utilizando as bibliotecas de conversão para as concentrações em ppm. Também seria ideal haver uma relação entre a concentração em ppm e as unidades exatas da resolução do CONAMA, tanto para um comparativo com os limites aceitáveis como para a configuração dos alertas do Grafana.

Ficará em aberto para trabalhos futuros a realização das melhorias citadas acima, além de expandir a análise das séries temporais utilizando o próprio Grafana para possivelmente cumprir por completo o requisito funcional RF05 de predição de comportamentos.

REFERÊNCIAS

- AEROQUAL. *Series 200 – Portable Air Quality Monitor*. 2022. Disponível em: <<https://www.aeroqual.com/products/s-series-portable-air-monitors/series-200-portable-air-pollution-monitor>>. Acesso em: 15 jul. 2022. Citado na página 19.
- AVSYSTEM. *What is IoT architecture?* 2020. Disponível em: <<https://www.avsystem.com/blog/what-is-iot-architecture/>>. Acesso em: 15 jul. 2022. Citado 3 vezes nas páginas 13, 14 e 15.
- BASÍLIO, S. *O que é Node-RED? Conhecendo e instalando*. 2021. Disponível em: <<https://blogmasterwalkershop.com.br/outros/o-que-e-node-red-conhecendo-e-instalando>>. Acesso em: 5 ago. 2022. Citado na página 18.
- BRASIL. Resolução Conselho Nacional do Meio Ambiente nº 491. *Diário Oficial da União*, v. 223, n. 1, p. 155, 2018. Disponível em: <in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/51058895>. Citado 5 vezes nas páginas 7, 9, 11, 12 e 13.
- GUO, Y.; ZHU, H.; YANG, L. Service-oriented network virtualization architecture for internet of things. *China Communications*, v. 13, n. 9, p. 163–172, 2016. Citado na página 9.
- HOU, L. et al. Internet of things cloud: Architecture and implementation. *IEEE Communications Magazine*, v. 54, n. 12, p. 32–39, 2016. Citado na página 12.
- INFLUXDATA. *InfluxDB 1.8 documentation*. 2022. Disponível em: <<https://docs.influxdata.com/influxdb/v1.8/>>. Acesso em: 13 ago. 2022. Citado na página 18.
- LIBELIUM. *Air Quality Station Technical Guide*. 2022. Disponível em: <<https://development.libelium.com/air-quality-station-technical-guide/>>. Acesso em: 15 jul. 2022. Citado na página 19.
- MINITAB. *Métodos para análise de séries temporais*. 2022. Disponível em: <<https://support.minitab.com/pt-br/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/time-series/supporting-topics/basics/methods-for-analyzing-time-series/>>. Acesso em: 4 ago. 2022. Citado na página 16.
- MQTT. *MQTT: The Standard for IoT Messaging*. 2022. Disponível em: <<https://mqtt.org>>. Acesso em: 15 ago. 2022. Citado na página 17.
- NAIR, A. *Introduction to InfluxDB: A time-series database*. 2021. Disponível em: <<https://wearecommunity.io/communities/india-java-user-group/articles/891>>. Acesso em: 13 ago. 2022. Citado na página 18.
- POSEY, B. *DEFINITION edge analytics*. 2020. Disponível em: <<https://searchbusinessanalytics.techtarget.com/definition/edge-analytics>>. Acesso em: 15 jul. 2022. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 15.

ROBOCORE. *LoRaWAN - Conceitos Básicos*. 2022. Disponível em: <<https://www.robocore.net/tutoriais/lorawan-conceitos-basicos>>. Acesso em: 4 ago. 2022. Citado na página 17.

SHIVANG. *What is Grafana? Why Use It? Everything You Should Know About It*. 2022. Disponível em: <<https://scaleyourapp.com/what-is-grafana-why-use-it-everything-you-should-know-about-it/>>. Acesso em: 15 ago. 2022. Citado na página 18.

STACK, T. T. *The Things Network*. 2022. Disponível em: <<https://www.thethingsindustries.com/docs/getting-started/ttn/>>. Acesso em: 15 ago. 2022. Citado na página 17.

UHOO. *Create a healthy home*. 2022. Disponível em: <<https://getuhoo.com/home>>. Acesso em: 15 jul. 2022. Citado na página 19.

WIKIPEDIA. *MQTT*. 2022. Disponível em: <<https://en.wikipedia.org/wiki/MQTT>>. Acesso em: 15 ago. 2022. Citado na página 17.

WIKIPEDIA. *Node-RED*. 2022. Disponível em: <<https://en.wikipedia.org/wiki/Node-RED>>. Acesso em: 5 ago. 2022. Citado na página 17.

WIKIPEDIA. *Time series*. 2022. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/Time_series#Exploratory_analysis>. Acesso em: 4 ago. 2022. Citado na página 16.