



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TELEINFORMÁTICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

LUANN LUCAS DE MOURA PRAXEDES

**UMA FERRAMENTA PARA VISUALIZAÇÃO DA QUALIDADE DO AR COM DADOS
DE MONITORAMENTO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS**

FORTALEZA

2025

LUANN LUCAS DE MOURA PRAXEDES

UMA FERRAMENTA PARA VISUALIZAÇÃO DA QUALIDADE DO AR COM DADOS DE
MONITORAMENTO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Computação do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Engenharia de Computação.

Orientador: Prof. Dr. Danielo Gonçalves Gomes

Coorientador: Prof. Dr. Thiago Iachiley Araújo de Souza

FORTALEZA

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- P91 Praxedes, Luann Lucas de Moura.
Uma ferramenta para visualização da qualidade do ar com dados de monitoramento de poluentes atmosféricos / Luann Lucas de Moura Praxedes. – 2025.
29 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia de Computação, Fortaleza, 2025.
Orientação: Prof. Dr. Danielo Gonçalves Gomes.
Coorientação: Prof. Dr. Thiago Iachiley Araújo de Souza.
1. Qualidade do ar. 2. Visualização de dados. 3. Sistemas de mapeamento. I. Título.
CDD 621.39
-

LUANN LUCAS DE MOURA PRAXEDES

UMA FERRAMENTA PARA VISUALIZAÇÃO DA QUALIDADE DO AR COM DADOS DE
MONITORAMENTO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Computação do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Engenharia de Computação.

Aprovada em: 07 de Março de 2025

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Daniello Gonçalves Gomes (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Thiago Iachiley Araújo de
Souza (Coorientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Bruno Vieira Bertoncini
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus, pois tudo vem dEle e é para Ele. À minha família, pois são a base de tudo quem sou e sempre estão junto para a caminhada. Meu Pai e Mãe, por serem rocha firme em quem sempre posso confiar.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por sua graça que nos permite viver todos os dias.

Aos meus pais, Lucivan e Dária por todo o amor e suporte durante toda a vida, inclusive na jornada universitária.

Ao Prof. Dr. Danielo G. Gomes por ser o orientador deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Thiago Iachiley Araújo de Souza pelas contribuições feitas durante o desenvolvimento do projeto

Ao Prof. Dr. Bruno Bertoncini, Andrey, Jairo, Pedro e a todos os integrantes do TRAMA, pela colaboração com dados do projeto de rede de monitoramento de qualidade do ar, sem os quais esse projeto não seria possível.

“A vitalidade é demonstrada não apenas pela persistência, mas pela capacidade de começar de novo.”

(F. Scott Fitzgerald)

RESUMO

As mudanças climáticas e seus impactos sobre os ecossistemas e a saúde e bem-estar humanos estão constantemente na pauta de discussão da comunidade internacional, assim como as soluções necessárias para monitorar e mitigar os efeitos. Para isso, inúmeros projetos e diretrizes acerca da implantação e operação de redes de monitores da qualidade do ar estão publicados e são utilizados para obtenção de dados acerca dos níveis de poluentes atmosféricos em cidades e regiões. No entanto, para que esses dados sejam transformados em informação e conhecimento, é necessário exibi-los de maneira intuitiva, de forma que sejam facilmente assimilados pelo público leitor. Nesse contexto, este trabalho propõe a criação de uma ferramenta para a visualização de dados de monitoramento de qualidade do ar por meio de mapas interativos, implementados em ambiente *web*, com um sistema baseado em *leaflet.js*, escrito em linguagem *javascript*, a partir de dados de medições de poluentes atmosféricos obtidos por sistemas de monitoramento da qualidade do ar, os quais são processados na ferramenta para cálculo do Índice de Qualidade do Ar (IQAr). Como resultado, a ferramenta dispõe de um sistema de mapas dinamicamente renderizado com base em filtros selecionados pelo usuário, exibindo as informações calculadas do IQAr em subdivisões administrativas da cidade analisada, permitindo melhor compreensão das informações contidas nos dados coletados, podendo ser utilizada como ferramenta de informação pública pela população para informação das condições ambientais do meio onde vivem, ou como ferramenta de estudo da evolução e comportamento dos níveis de poluentes.

Palavras-chave: Qualidade do ar. Visualização de dados. Sistemas de mapeamento.

ABSTRACT

Climate change and its impacts on ecosystems, human health, and well-being remain a key topic of discussion within the international community, along with the necessary solutions for monitoring and mitigating these effects. To this end, numerous projects and guidelines have been published on the implementation and operation of air quality monitoring networks, which provide data on atmospheric pollutant levels in cities and regions. However, to transform this data into meaningful information and knowledge, it must be presented intuitively, ensuring easy comprehension by the target audience. In this context, this study proposes the development of a web-based tool for visualizing air quality monitoring data through interactive maps. The system is implemented using leaflet.js and written in JavaScript, processing pollutant measurement data from air quality monitoring systems to calculate the Air Quality Index (AQI). As a result, the tool features a dynamically rendered mapping system based on user-selected filters, displaying AQI information across the administrative subdivisions of the analyzed city. This facilitates a clearer understanding of the collected data and can serve as a public information resource for citizens to monitor environmental conditions or as a tool for studying the trends and behavior of pollutant levels.

Palavras-chave: Air quality. Data visualization. Mapping systems.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Delineamento de etapas da metodologia aplicada	18
Figura 2 – Camadas da arquitetura de mapa do projeto	21
Figura 3 – Estrutura de pastas do projeto final	22
Figura 4 – Ambiente do visual dinâmico de mapas	23
Figura 5 – Controle de filtros	24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Intervalos de referência de IQAr e concentração de poluentes I	15
Tabela 2 – Intervalos de referência de IQAr e concentração de poluentes II	15
Tabela 3 – Arquivos gerados	22

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CQNUMC	Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima
IQAr	Índice de Qualidade do Ar
MMA	Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima
OMS	Organização Mundial de Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
SIG	Sistema de Informações Geográficas
UFC	Universidade Federal do Ceará

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	Normas brasileiras para computação do IQAr	15
2.2	Construção de visuais informativos e eficazes	16
2.3	Sistema de Informação Geográfica (SIG)	16
2.4	Node.js	16
3	MATERIAL E MÉTODO	17
3.1	Delineamento da metodologia	17
3.2	Detalhamento	19
3.2.1	<i>Pré-processamento</i>	19
3.2.2	<i>Índice de Qualidade do Ar</i>	19
3.2.3	<i>Construção do sistema web</i>	20
3.2.4	<i>GIS</i>	20
4	RESULTADOS	22
4.1	Resultados de implementação de sistema de mapas	22
5	CONCLUSÃO	25
	REFERÊNCIAS	26
	APÊNDICES	28
	APÊNDICE A – Código-fonte utilizado para pré-processamento	28

1 INTRODUÇÃO

A preocupação com os impactos da mudança climática está na pauta da comunidade internacional cada vez mais e ações conjuntas são necessárias para reduzir o impacto sobre o meio ambiente e os ecossistemas do planeta (WHO, 2021). Essas ações envolvem inúmeras estratégias que englobam vários setores da sociedade, sendo um dos mais discutidos o da poluição atmosférica, alvo de vários planos e acordos internacionais, firmados entre as partes integrantes da Organização das Nações Unidas (ONU) como forma de agir conjuntamente com a intenção de mitigar os efeitos das alterações climáticas.

Um dos principais mecanismos internacionais para a realização desse controle, o Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (CQNUMC), é responsável por organizar os integrantes nas Conferências das Partes, uma das quais, a COP 21 realizada no ano de 2015 na cidade de Paris, França, ficou marcada pela ratificação do Acordo de Paris (UNFCCC, 2018). Nesses acordos são estabelecidos metas e parâmetros empíricos para o combate e controle das emissões e do aumento da média de temperatura global, se comparado com o período pré-industrial.

É com base nesse cenário de necessidade de controle ativo e consciente das condições atmosféricas que a Organização Mundial de Saúde (OMS) publica diretrizes acerca de níveis alvo para que as condições sejam consideradas saudáveis (WHO, 2021). Com isso, inúmeros atores nacionais baseiam os alvos de suas políticas públicas para controle de qualidade do ar com base nas indicações de normas internacionais.

Em um contexto regional, a cidade de Fortaleza implementou uma rede de monitores para acompanhar os níveis de poluentes atmosféricos na cidade, em projeto executado em parceria com a Universidade Federal do Ceará (UFC) (FORTALEZA, 2023). O projeto implementa uma rede de monitores de baixo custo para a finalidade de monitorar a qualidade do ar.

Dado o contexto, as informações e conhecimento que podem ser extraídos dos dados obtidos pela rede de monitoramento são de interesse geral da sociedade, tanto da população quanto do poder público, já que se relacionam diretamente com temas de bem-estar social e qualidade de vida. Assim, buscar maneiras de apresentar as informações de maneira amplamente difusível é altamente desejável, sabendo que visualizações de dados eficientes e informativas são capazes de transmitir informações contidas em conjuntos de dados específicos para o público mesmo que não seja especialista no assunto (STEELE; ILIINSKY, 2010).

Assim, este trabalho tem como objetivo geral gerar uma ferramenta de visualização

capaz de disseminar os dados sobre a qualidade do ar de maneira que sejam acessíveis para todo o público interessado, sejam especialistas no assunto que almejam estudar e analisar a dinâmica e evolução dos dados, ou a sociedade em geral, cuja qualidade de vida está associada aos fatores visualizados, e cujo diferencial em relação a implementações já existentes tomadas como ponto de partida (MCFARLIN *et al.*, 2024), é a utilização de ferramentas de código aberto, sem vínculo com entes privados ou necessidade de pagamento, a fim de tornar a solução acessível para modificações que se façam necessária para a adaptação aos diversos cenários de uso.

Fazendo a listagem de objetivos específicos:

1. Desenvolver uma visualização de dados baseada em Sistema de Informações Geográficas (SIG) em ambiente *web* para permitir análise e divulgação dos dados obtidos a partir do monitoramento, tanto pelas partes internas ao projeto como a sociedade em geral, a fim de ampliar o impacto da informação;
2. Implementar o cálculo do Índice de Qualidade do Ar (IQAr) diretamente na ferramenta, com base nas diretrizes internacionalmente estabelecidas. Isso garantirá que a visualização de dados apresentada pelo projeto siga o padrão universal, tornando as informações compreensíveis não só para um público especialista específico, mas sim um público geral;
3. Incluir na ferramenta meios de filtragem dos dados fornecidos, a fim de tornar a visualização dinâmica e permitir que o usuário faça análise momentos no tempo específicos em uma localização de interesse.

Este documento está dividido em sete partes, a primeira, introdução, apresenta o contexto do trabalho, a justificativa do trabalho, seus objetivos e a delimitação da estrutura do documento.

Em seguida, referencial teórico é a segunda parte, na qual é apresentado o embasamento teórico utilizado para a compreensão dos métodos utilizados na construção do projeto.

Subsequentemente, a terceira parte apresenta os materiais e métodos utilizados na elaboração da visualização para satisfazer os objetivos propostos.

Posteriormente, a quarta parte apresenta os resultados que foram obtidos da aplicação dos métodos propostos na seção anterior.

Logo depois, a discussão dos resultados é apresentada na quinta parte do trabalho, concluindo sobre os resultados obtidos com os objetivos propostos.

Por fim, na sexta e sétima partes, são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas e o apêndice contendo os artefatos gerados.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A seguir são introduzidas as referências teóricas nas quais foram embasadas as decisões de formação da metodologia aplicada para a obtenção dos resultados do projeto.

2.1 Normas brasileiras para computação do IQAr

No Brasil, o CONAMA é o órgão responsável por estabelecer os padrões nacionais de qualidade do ar e fornecer diretrizes para sua aplicação (CONAMA, 2024). Seguindo a atualização mais recente da normativa, feita para trazer a padronização em conformidade com a última versão das diretrizes internacionais definidas pela OMS (WHO, 2021). Ademais, em cumprimento com a resolução CONAMA 506/24, o Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA) atualizou a orientação técnica que descreve as concentrações de referência dos contaminantes e a forma de cálculo do índice de qualidade do ar (MMA, 2025). Com isso, podemos ver nas Tabelas 1 e 2 os valores de referência adotados para os tipos de poluentes que estão incluídos no índice, além do intervalo correspondente de IQAr, junto com sua classificação.

Tabela 1 – Intervalos de referência de IQAr e concentração de poluentes I

Qualidade do Ar	Índice	MP ₁₀ (µg/m ³) 24h	MP _{2,5} (µg/m ³) 24h	O ₃ (µg/m ³) 8h
N1 – Boa	0 – 40	0 – 45	0 – 15	0 – 100
N2 – Moderada	41 – 80	>45 – 100	>15 – 50	>100 – 130
N3 – Ruim	81 – 120	>100 – 150	>50 – 75	>130 – 160
N4 – Muito Ruim	121 – 200	>150 – 250	>75 – 125	>160 – 200
N5 – Péssima	201 – 400	>250 – 600	>125 – 300	>200 – 800

Fonte: MMA (2025)

Tabela 2 – Intervalos de referência de IQAr e concentração de poluentes II

Qualidade do Ar	Índice	CO (ppm) 8h	NO ₂ (µg/m ³) 1h	SO ₂ (µg/m ³) 24h
N1 – Boa	0 – 40	0 – 9	0 – 200	0 – 40
N2 – Moderada	41 – 80	>9 – 11	>200 – 240	>40 – 50
N3 – Ruim	81 – 120	>11 – 13	>240 – 320	>50 – 125
N4 – Muito Ruim	121 – 200	>13 – 15	>320 – 1130	>125 – 800
N5 – Péssima	201 – 400	>15 – 50	>1130 – 3750	>800 – 2620

Fonte: MMA (2025)

2.2 Construção de visuais informativos e eficazes

Ao abordar a eficácia de um visual, temos que considerar dois fatores principais: a informação passada, a qual deve se atentar à intenção que o visual quer passar, e o contexto de uso no qual este se insere. Além disso, a eficácia está ligada também à eficiência com a qual os dados são apresentados, pois a adição de informações adicionais não aumenta necessariamente a quantidade de conhecimento que o leitor pode retirar do visual (STEELE; ILIINSKY, 2010). Finalmente, a utilização de convenções de representação pode ser benéfica para a retenção das informações adquiridas por meio da representação gráfica dos dados, além da facilidade e maior rapidez de captação (STEELE; ILIINSKY, 2010).

2.3 Sistema de Informação Geográfica (SIG)

Os Sistemas de Informação Geográfica são sistemas computacionais utilizados para armazenar, capturar, averiguar e exibir informações georreferenciadas em uma aplicação que conta com recursos de mapa. Esses sistemas não são limitados a simplesmente renderizar pontos em um mapa, sendo capazes de suportar a criação de sistemas robustos com diversas aplicações por meio de comparações e análises de diversos formatos de dados (EVERS, 2025).

2.4 Node.js

O Node.js é uma plataforma de ambiente de execução Javascript de código aberto, performática e amplamente adotada para desenvolvimento de aplicações *web* devido à possibilidade de utilização de linguagem Javascript para criar os recursos servidores, permitindo que o desenvolvimento da arquitetura da aplicação utilize a mesma linguagem em ambos os componentes de lado cliente quanto lado servidor, simplificando e acelerando o processo de implementação (NODEJS, 2025).

3 MATERIAL E MÉTODO

Para o desenvolvimento da ferramenta de visualização proposta tendo em vista os objetivos delimitados pelo trabalho, são utilizadas algumas entradas de dados, as quais: Conjunto de dados das medições realizadas pela rede de monitores de ar, a listagem de sensores e os conjuntos georreferenciados para os limites administrativos da cidade de Fortaleza.

Os dados de medições e de listagem de sensores utilizados neste projeto foram fornecidos pelo grupo de Transportes e Meio Ambiente (TRAMA), do Departamento de Engenharia de Transportes (DET), da Universidade Federal do Ceará (UFC). Já os dados sobre as divisões administrativas de bairros (IPPLANFOR, 2023) e secretarias regionais (IPPLANFOR, 2019) foram obtidos por meio do portal de dados abertos da Prefeitura de Fortaleza.

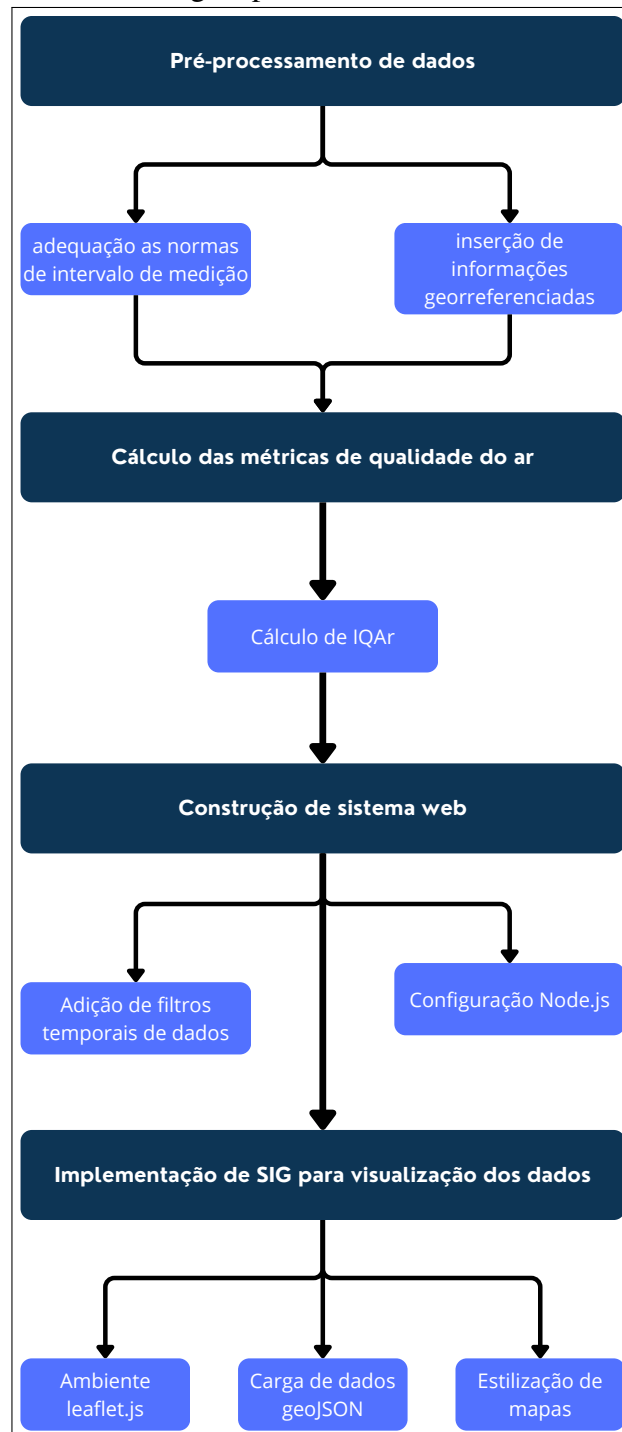
Com relação ao conjunto de registros dos medidores, estão armazenados em um arquivo de extensão .csv, e contêm registros contínuos sobre poluentes de materiais particulados e gases, além de um identificador para o monitor que efetuou o registro e um campo de data para sinalizar o momento da medição. Ainda, a listagem de medidores possui informações de id, latitude e longitude e nome para cada dispositivo implantado na cidade de Fortaleza.

Já os arquivos de delimitação de regiões administrativas estão formatados em ge-JSON, um formato de dados criado a partir da especificação JSON. Esses arquivos contêm informações georreferenciadas para a exibição de polígonos sobre um mapa com a utilização de um SIG, e no caso dos dois arquivos utilizados neste trabalho, correspondem aos bairros da cidade e secretarias regionais da cidade de Fortaleza, Ceará.

3.1 Delineamento da metodologia

O delineamento dos métodos utilizados durante a execução do trabalho está representado na figura 1. O fluxo lógico apresentado começa com o pré-processamento dos dados obtidos para os adequar aos objetivos do projeto e referencial teórico, em seguida são feitos os cálculos necessários para gerar os parâmetros utilizados nas visualizações. Com isso feito, as próximas etapas consistem na implementação da aplicação web, com a criação das funções de filtro temporal para os dados, configuração do Node.js. Finalmente, é feita a inicialização do SIG com as informações de mapa, e a criação dos estilos do visual interativo.

Figura 1 – Delineamento de etapas da metodologia aplicada



Fonte: elaborado pelo autor (2025).

3.2 Detalhamento

3.2.1 Pré-processamento

Para iniciar a implementação do trabalho, foram aplicadas algumas etapas de pré-processamento dos dados para que estes fossem adequados aos requisitos da aplicação, a fim de atingir os objetivos firmados para o projeto.

Primeiramente, para adequar os dados das medições de qualidade do ar, foram calculadas as médias horárias sobre todo o conjunto de medições, isso se fez necessário para que fosse atendida a norma técnica que dispõe de qual frequência de amostragem usar para cada tipo de implantação de rede de monitores do ar (MMA, 2024). Assim, como a rede utiliza medições automáticas e contínuas, a frequência de amostragem a ser considerada foi da média horária consecutiva. Ainda, o processamento prévio foi necessário para desonerar o processamento do cliente web, que caso tivesse que realizar todas as operações em tempo real, se tornaria lento, além de pouco responsivo e culminaria em uma má experiência de uso.

Além disso, foi necessário atualizar os dados georreferenciados das divisões administrativas da cidade com a informação de quais dispositivos monitores estão inscritos na área delimitada. Assim, o algoritmo de pré-processamento percorre os objetos para checar se algum monitor existe dentro da geometria do polígono, caso positivo é criada uma nova propriedade contendo os sensores contidos.

3.2.2 Índice de Qualidade do Ar

Para o cálculo do IQAr, foi necessário utilizar a fórmula definida pela norma mais atualizada, assim, realizando a computação por meio da Equação 3.1, fez-se necessário repetir a operação para todos os poluentes acompanhados, pois para obter o índice a ser divulgado, devem ser observados os índices individuais de cada contaminante, e o maior valor encontrado deve ser apresentado como representativo da qualidade de ar monitorada para aquele espaço (MMA, 2025).

$$IQAr = I_{ini} + \frac{I_{fin} - I_{ini}}{C_{fin} - C_{ini}} \times (C - C_{ini}) \quad (3.1)$$

Ainda, acerca dos elementos que constituem a Equação 3.1, é preciso consultar as Tabelas 1 e 2, pois os valores de I_{ini} , I_{fin} , C_{ini} e C_{fin} são extraídos diretamente dos intervalos

de valores presentes nas tabelas. Sendo C a concentração encontrada do poluente, os valores de C_{ini}/C_{fin} são os valores inicial e final respectivamente da faixa na qual se encontra o valor encontrado. Já os valores de I_{ini}/I_{fin} são os pontos inicial e final do intervalo de referência de IQAr equivalente ao da faixa que contém a medida.

3.2.3 Construção do sistema web

Para a inicialização da implementação do sistema web, foi definido o arquivo `server.js`, que servirá como a base Node.js para a aplicação, nele está definida a estrutura que servirá os arquivos estáticos aos acessos do serviço. Isso se faz necessário para possibilitar que o recurso seja acessado remotamente, ou para evitar que o navegador recuse o acesso localmente em função da requisição feita sem o uso de servidor Node.js ser do tipo *cross-origin* ou de origens distintas, que é recusada pelo navegador por segurança (MOZILLA, 2025).

Ademais, nessa etapa também foi implementada a função responsável pela filtragem temporal dos dados que serão utilizados para o cálculo do IQAr, por meio de controles presentes na visualização, os quais permitem a escolha independente de ano, mês e dia, a fim de propiciar dinamicidade para a aplicação e a flexibilidade necessária para que o usuário realize buscas e acompanhamento da evolução e mudança da qualidade do ar para determinado local de interesse. Além de filtrar os dados, a função também é responsável por importar os dados gerados como produto do pré-processamento.

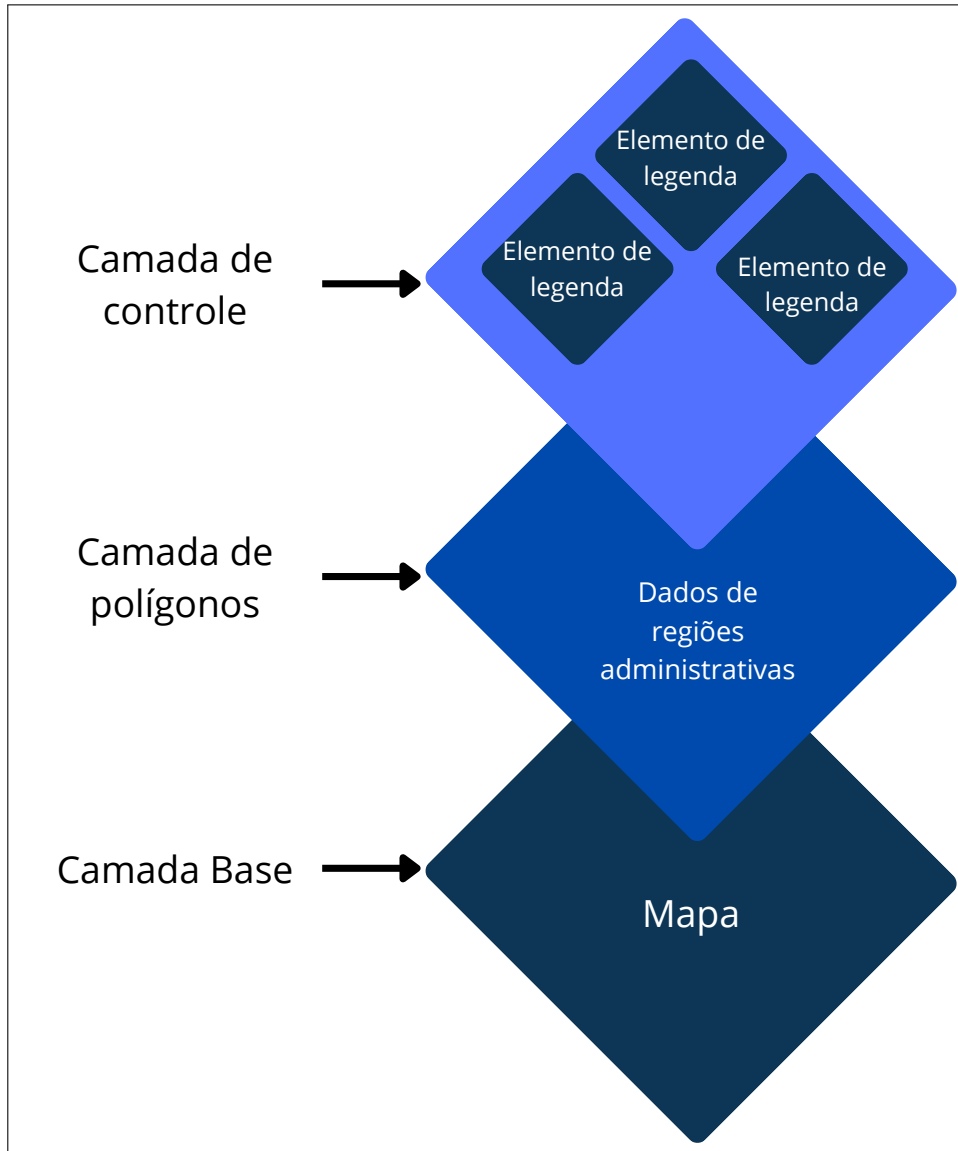
3.2.4 GIS

A tecnologia de mapeamento do projeto foi baseada no `leaflet.js`, uma biblioteca de criação de mapas de código aberto, de simples uso e ampla documentação e suporte comunitário (EDLER; VETTER, 2019), com isso, as etapas adotadas foram como descritas no delineamento da metodologia, a criação e inicialização do ambiente, a carga de dados georreferenciados a serem exibidos em sobreposição ao mapa e a estilização final da aplicação.

A arquitetura de funcionamento do `leaflet.js` está baseada em camadas, onde cada componente é adicionado à aplicação e se torna uma camada da mesma. A Figura 2 representa a estrutura final de camadas adotadas para uso no projeto. Detalhando cada nível, temos que a base foi composta pela inicialização do mapa, utilizando o repositório *OpenStreetMap*, é uma base de dados aberta e gratuita para mapas. Em seguida, é adicionada um novo nível sobre a base, com os dados georreferenciados das unidades administrativas, exibidos no mapa como polígonos.

Por fim, no quarto nível são adicionados controles e legendas sobre o mapa, que funcionam na mesma camada para controlar e informar sobre a visualização.

Figura 2 – Camadas da arquitetura de mapa do projeto



Fonte: elaborado pelo autor (2025).

Durante a carga dos dados geoJSON, os estilos sobre o mapa foram aplicados dinamicamente em função do resultado de IQAr obtido, para que o impacto visual gere conhecimento no leitor antes mesmo de qualquer número ser exibido ou consultado (STEELE; ILIINSKY, 2010), para isso, a seleção de cores foi pensada para atender convenções já estabelecidas para exibição de dados de qualidade do ar (MMA, 2025), partindo de uma tonalidade verde comumente associada com uma atmosfera a qual tem baixos níveis de poluentes dispersos, e no pior caso chegando a uma coloração violeta, que demonstra a intensificação de cor, e logicamente do fenômeno representado.

4 RESULTADOS

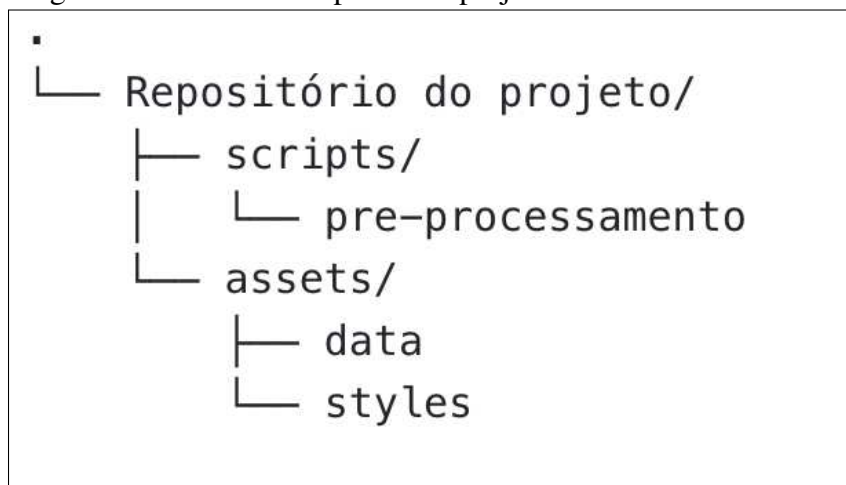
Ao longo do processo de desenvolvimento do projeto foram gerados arquivos que suportam o funcionamento e a criação das funcionalidades implementadas. A Tabela 3 lista os arquivos e dá uma breve indicação de função. Além disso, a Figura 3 exibe a estrutura de pastas na qual o projeto está implementado.

Tabela 3 – Arquivos gerados

Nome do arquivo	Tipo	Função
preProcessing.py	script	conversão
processed_data.csv	tabela de dados	resultado do script de pré-processamento
map.css	estilo	configuração de estilo dos elementos do sistema
calculateAverage.js	script	calcula a média dos dados para os filtros escolhidos
calculateIQAr.js	script	calcula o índice IQAr para as médias de poluentes fornecidas
map.js	script	arquivo principal da declaração das camadas do sistema de mapa
index.html	documento HTML	estrutura HTML da aplicação
server.js	script	declaração node.js para servir a aplicação

Fonte: elaborado pelo autor (2025).

Figura 3 – Estrutura de pastas do projeto final

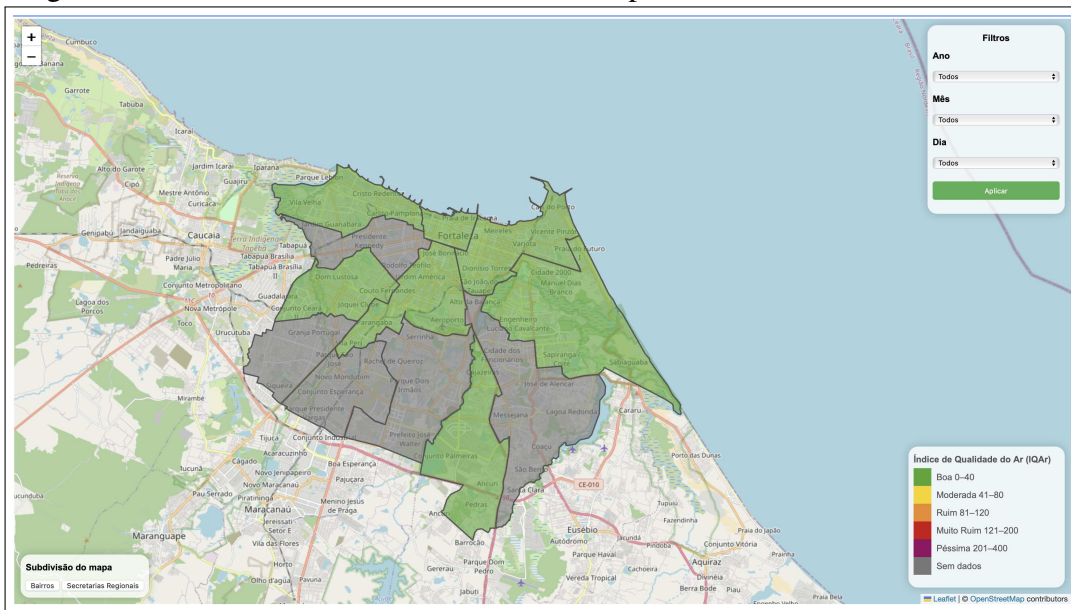


Fonte: elaborado pelo autor (2025).

4.1 Resultados de implementação de sistema de mapas

Para a aplicação da metodologia proposta para a criação do ambiente visual e interativo de mapas proposto para o projeto, é possível observar na Figura 4 que foram implementados os objetos discutidos anteriormente, como mapa estilizado dinâmico, controles de filtro interativos, alternância entre visualização de divisões administrativas e legenda como referencial prático sobre teoria de Índice de Qualidade do Ar.

Figura 4 – Ambiente do visual dinâmico de mapas



Fonte: elaborado pelo autor (2025).

O visual obtido para o mapa dinâmico apresentado na Figura 4 é constituído por alguns elementos, nomeadamente a estilização dinâmica dos elementos do mapa em função do índice de qualidade obtido para os dados analisados no período indicado.

Para a construção do visual dinamicamente calculado, foi feita a implementação de uma função de cálculo de qualidade do ar, listada na Tabela 3, da qual se obtém o resultado de IQAr para um determinado elemento das subdivisões administrativas selecionadas, os quais são calculados de acordo com os referenciais teóricos e normativos estabelecidos neste documento.

Ademais, o sistema apresenta ainda o resultado da implementação das funções de filtragem dos dados em tempo real acessível ao usuário, representada na Figura 4 e em maior nível de resolução na Figura 5. Como resultado da implementação, as funções permitem a seleção independente de parâmetros para a exibição de valores de IQAr precisamente no momento de interesse de estudo do usuário, ou para acompanhar padrões repetitivos na variação das concentrações de poluentes.

Ainda, vale ressaltar aspectos positivos que podem ser apreciados a partir dos resultados obtidos, a exemplo da visualização enxuta do sistema, que permite que o usuário receba a informação de maneira mais eficiente, sem ser bombardeado por um fluxo constante de informações que possivelmente seriam disruptivas para o entendimento da mensagem passada pelo visual.

Além disso, os dados apresentados em um visual intuitivo, mas ainda sendo baseados em parâmetros calculados a partir de normas e regulamentos nacionais e internacionais, apontam

Figura 5 – Controle de filtros



The image shows a mobile application interface for filters. At the top, the title "Filtros" is centered. Below it, there are three filter categories: "Ano", "Mês", and "Dia". Each category has a dropdown menu with "Todos" selected. At the bottom, there is a green button labeled "Aplicar".

Fonte: elaborado pelo autor (2025).

para um potencial da ferramenta de ajudar inúmeros perfis de usuário a entenderem como os poluentes afetam o ambiente ao seu redor, e até atores responsáveis por políticas públicas que podem observar notáveis disparidades entre a realidade de bem-estar atmosférico dentre as diferentes regiões administrativas da qual fazem parte.

Ademais, a arquitetura do projeto propositalmente não tem dependências em *frameworks* de desenvolvimento web muito difundidos, em razão de manter a maior compatibilidade possível para futuras implementações em distintos ambientes de desenvolvimento, o que pode ressaltar uma característica de versatilidade marcante.

5 CONCLUSÃO

O trabalho implementou o cálculo do índice de qualidade do ar conforme estabelecido na legislação vigente para os dados fornecidos para a aplicação, permitindo que os valores sejam analisados e comparados com base em uma medida bem definida e amplamente padronizada, agindo como ponto de referência comum.

Ademais, o projeto também criou um mapa para a visualização dos dados utilizando-se de faixas de cores e divisões administrativas municipais. Isso permite que a base de dados seja explorada por meio visual de fácil assimilação, além de contextualizar a realidade regional do monitoramento da qualidade do ar.

Além disso, a aplicação também apresenta uma funcionalidade para filtragem dos dados dinâmica para a visualização do mapa, permitindo a exploração interativa de toda a base de dados e uma análise focada no comportamento das medições para a região foco de estudo em diferentes períodos.

Ainda assim, vale ressaltar que o sistema tem limitações, especificamente a ausência de conexão direta com a fonte de dados da rede de monitoramento, criando a necessidade de carga manual de dados regular para manter as informações atualizadas. Além disso, não há implementação específica para garantir a adequação da exibição da ferramenta em dispositivos móveis com telas menores.

Finalmente, com foco em possíveis melhorias para trabalhos futuros, seria interessante implementar uma integração de consulta para um banco de dados robusto, com amplo histórico medições da qualidade do ar para melhor aproveitamento das ferramentas de análise oferecidas e maior confiança no embasamento da informação obtida para a tomada de decisões e monitoramento ambiental, além disso, também é interessante a possibilidade de desenvolvimento de função de visualização em 3D das regiões apresentadas pela ferramenta, com altura proporcional ao IQAr calculado, com a finalidade de aprimorar a exposição dos dados.

REFERÊNCIAS

- CONAMA. **RESOLUÇÃO Nº 506, DE 5 DE JULHO DE 2024**. 2024. Disponível em: <https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=827>. Acesso em: 5 dez. 2024.
- EDLER, D.; VETTER, M. The simplicity of modern audiovisual web cartography: An example with the open-source JavaScript library leaflet.js. **KN J. Cartogr. Geogr. Inf.**, Springer Science and Business Media LLC, v. 69, n. 1, p. 51–62, maio 2019.
- EVERS, J. **GIS (Geographic Information System)**. National Geographic Society, 2025. Disponível em: <<https://education.nationalgeographic.org/resource/geographic-information-system-gis/>>. Acesso em: 10 fev. 2025.
- FORTALEZA, P. d. **Prefeitura lança política e rede de monitoramento da qualidade do ar de Fortaleza**. 2023. Disponível em: <<https://www.fortaleza.ce.gov.br/noticias/prefeitura-lanca-politica-e-rede-de-monitoramento-da-qualidade-do-ar-de-fortaleza>>. Acesso em: 18 jan. 2025.
- IPPLANFOR. **Fortaleza em mapas: Bairros de Fortaleza**. 2019. Disponível em: <<https://mapas.fortaleza.ce.gov.br/?view=17>>. Acesso em: 25 nov. 2024.
- IPPLANFOR. **Fortaleza em mapas: Bairros de Fortaleza**. 2023. Disponível em: <<https://mapas.fortaleza.ce.gov.br/?view=21>>. Acesso em: 25 nov. 2024.
- MCFARLIN, E.; BARGAGLI-STOFFI, F. J.; CASTRO, E.; SCHWARTZ, J.; DOMINICI, F.; AMINI, H. Air quality disparities mapper: An open-source web application for environmental justice. **Environmental Modelling Software**, v. 172, p. 105881, 2024. ISSN 1364-8152. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364815223002670>>.
- MMA. **Leaflet API reference**. 2024. Disponível em: <<https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/meio-ambiente-urbano-recursos-hidricos-qualidade-ambiental/qualidade-do-ar/guia-tecnico-para-o-monitoramento-e-avaliacao-da-qualidade-do-ar.pdf>>. Acesso em: 5 dez. 2024.
- MMA. **Orientação Técnica Índice de Qualidade do Ar**. 2025. Disponível em: <<https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/meio-ambiente-urbano-recursos-hidricos-qualidade-ambiental/qualidade-do-ar/indice-de-qualidade-do-ar-iqar/orientacao-tecnica-indice-de-qualidade-do-ar-jan-25.pdf>>. Acesso em: 02 fev. 2025.
- MOZILLA. **Cross-Origin Resource Sharing (CORS)**. 2025. Disponível em: <<https://developer.mozilla.org/pt-BR/docs/Web/HTTP/CORS>>. Acesso em: 28 jan. 2025.
- NODEJS. **Introduction to Node.js**. 2025. Disponível em: <<https://nodejs.org/en/learn/getting-started/introduction-to-nodejs>>. Acesso em: 2 fev. 2025.
- STEELE, J.; ILIINSKY, N. **Beautiful Visualization**. Sebastopol, CA: O'Reilly Media, 2010.
- UNFCCC. **The Paris Agreement - Publication**. 2018. Disponível em: <<https://unfccc.int/documents/184656>>. Acesso em: 15 jan. 2025.

WHO. WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. 2021. Disponível em: <<https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228>>. Acesso em: 18 jan. 2025.

APÊNDICE A – CÓDIGO-FONTE UTILIZADO PARA PRÉ-PROCESSAMENTO

Código-fonte 1 – Programa de pré-processamento

```
1 import pandas as pd
2 import json
3 from shapely.geometry import Point, MultiPolygon, Polygon
4
5 #pr -processamento do arquivo de dados geográficos para
   inclusão da informação de sensores contidos na rea
6 with open("../assets/data/Secretarias_Executivas_Regionais.
   geojson", "r", encoding="utf-8") as f:
7     regions_data = json.load(f)
8
9 with open("../assets/data/Bairros_de_Fortaleza.geojson", "r
   ", encoding="utf-8") as f:
10     neighborhoods_data = json.load(f)
11
12 sensors_df = pd.read_csv("../assets/data/RELATÓRIO-DE-
   MONITORES.csv")
13
14 sensors_df["geometry"] = sensors_df.apply(lambda row: Point
   (row["long"], row["lat"]), axis=1)
15
16 def sensor_in_area(sensor_point, area_geometry):
17     if isinstance(area_geometry, Polygon):
18         return area_geometry.contains(sensor_point)
19     elif isinstance(area_geometry, MultiPolygon):
20         return any(polygon.contains(sensor_point) for
   polygon in area_geometry.geoms)
21     return False
22
23 def update_features_with_sensors(features, sensors_df):
```

```
24     for feature in features:
25         geometry = feature["geometry"]
26
27         if geometry["type"] == "MultiPolygon":
28             area_shape = MultiPolygon([Polygon(coords[0])
29                 for coords in geometry["coordinates"]])
30         elif geometry["type"] == "Polygon":
31             area_shape = Polygon(geometry["coordinates"]
32                 [0])
33         else:
34             continue
35
36         sensors_inside = [
37             sensor["moqaID"] for _, sensor in sensors_df.
38                 iterrows()
39             if sensor_in_area(sensor["geometry"],
40                 area_shape)
41         ]
42
43         feature["properties"]["sensors"] = sensors_inside
44
45     update_features_with_sensors(neighborhoods_data["features"]
46         ], sensors_df)
47
48     update_features_with_sensors(regions_data["features"],
49         sensors_df)
50
51     with open("../assets/data/Bairros_de_Fortaleza.geojson", "w
52         ", encoding="utf-8") as f:
53         json.dump(neighborhoods_data, f, ensure_ascii=False,
54             indent=2)
```

```
47 with open("../assets/data/Secretarias_Executivas_Regionais.  
    geojson", "w", encoding="utf-8") as f:  
48     json.dump(regions_data, f, ensure_ascii=False, indent  
        =2)  
49  
50  
51 #pr -processamento do arquivo medi o de dados  
52 df = pd.read_csv('../assets/data/cleaned_data.csv',  
    delimiter=',')  
53  
54 df['timeStamp'] = pd.to_datetime(df['timeStamp'])  
55 df['hour'] = df['timeStamp'].dt.floor('H')  
56  
57 df_avg = df.groupby('hour').agg(**{col: 'mean' for col in  
    df.select_dtypes(include='number').columns}, 'moqaId': '  
    first'})  
58  
59 df_avg = df_avg.reset_index().rename(columns={'hour': '  
    timeStamp'})  
60  
61 df_avg.to_csv("../assets/data/processed_data.csv", index=  
    False)
```