

## INTERNET DAS COISAS (IOT): UM SISTEMA DE MONITORAMENTO DE GASES CAUSADORES DE CHUVAS ÁCIDAS COM FOCO EM ÁREAS RURAIS

### INTERNET OF THINGS (IOT): A MONITORING SYSTEM FOR GASES THAT CAUSE ACID RAIN WITH A FOCUS ON RURAL AREAS

Margarete Panerai

**GRUPO DE TRABALHO: GT6: Tecnologia, inovação e comunicação:**

#### RESUMO

Dispositivos automatizados e altamente comunicativos, concebidos e desenvolvidos no campo da Ciência da Computação, têm sido cada vez mais requisitados por diferentes áreas, especialmente na agricultura. Diante disso, torna-se fundamental compreender e inovar soluções que atendam a essa crescente demanda. Este trabalho apresenta um protótipo voltado para o monitoramento e controle de temperaturas em áreas rurais, com o objetivo de manter condições ideais para uma produção agrícola mais eficiente. A abordagem adotada é qualitativa e descritiva. Os resultados indicam que as chuvas ácidas representam uma importante fonte de poluição, com potencial para esterilizar ecossistemas e plantações, contribuindo para desequilíbrios ecológicos. Nesse contexto, propõe-se o uso da Internet das Coisas (IoT) como ferramenta para o desenvolvimento de soluções e estratégias de prevenção. A tecnologia permite que os dados sejam acessados por qualquer dispositivo conectado à rede, possibilitando o monitoramento e a gestão dos fatores relacionados à emissão de gases poluentes.

Palavras-chave: Internet das Coisas (IoT); Gases poluentes; Prevenção; Agricultura.

#### INTRODUÇÃO

O progresso tecnológico tem permitido a automação de tarefas específicas e rotineiras de maneira cada vez mais eficiente. Como resultado, projetos residenciais podem ser elaborados em poucas horas, e colheitas são realizadas com rapidez impressionante por meio do uso de máquinas. Esse avanço só foi possível graças à integração de dispositivos eletrônicos com sistemas de processamento de informação, culminando na criação e aplicação dos sistemas computacionais. Embora não sejam onipresentes, esses sistemas representam a base da automação moderna que conhecemos hoje. No entanto, não são os protagonistas da história.

Neste trabalho, o foco recai sobre o estudo dos efeitos e repercussões das chuvas ácidas sobre o solo e a vegetação em áreas rurais. A pesquisa foi conduzida por meio da coleta de dados obtidos com o uso de tecnologias baseadas em Internet das Coisas (IoT).

Para isso, foi desenvolvido um esboço do protótipo e fluxograma voltado ao monitoramento

Seminário Internacional sobre Desenvolvimento Regional de poluentes atmosféricos, com sensores específicos para a detecção de dióxido de enxofre, dióxido de nitrogênio e dióxido de carbono — gases que estão diretamente ligados à formação das chuvas ácidas (Mendonça; Ramalho, 2009).

A motivação para este estudo está no interesse em aprofundar o conhecimento no campo da IoT, bem como na busca por soluções tecnológicas, que contribuam para o monitoramento ambiental e o desenvolvimento sustentável de regiões afetadas pela poluição. O objetivo geral é analisar a prototipação de uma plataforma baseada em tecnologia IoT para o monitoramento de áreas rurais, com o propósito de combater a poluição e, consequentemente, mitigar os efeitos do aquecimento global. E os objetivos específicos são a) Aplicar o conhecimento adquirido na prototipação de um modelo utilizando a plataforma Arduino; b) Descrever e aprofundar o entendimento sobre conectividade e as diversas possibilidades proporcionadas pela tecnologia de IoT; c) Compreender e desenvolver teoricamente uma solução tecnológica voltada à redução da poluição e seus impactos ambientais. O presente trabalho está organizado introdução, seguida do referencial teórico e metodológico, descrição do protótipo com análise dos dados e considerações finais. Por último, segue as referências bibliográficas utilizadas.

## FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A presente seção tem por objetivo apresentar alguns detalhes vinculados à aos temas de maior importância explorados no presente trabalho, expondo suas definições através de um embasamento teórico e bibliográfico.

### 2.1 INTERNET DAS COISAS

Pode-se responsabilizar à acessibilidade e os novos empregos de sistemas computacionais à internet. Desde de 1969, quando foi criada, a internet vem possibilitando e criando novos recursos para conveniência do homem. Desde a guerra fria, a Arpanet, como foi denominada em sua fundação, possuía a função de interligar e flexibilizar a comunicação. Essa “conexão invisível” servia como uma garantia para a comunicação em tempos turbulentos, onde a distribuição de informação era um luxo e/ou muitas vezes um recurso

inestimável (Redação National Geographic Brasil, 2024). Por duas décadas, até o ano de 1987, essa tecnologia foi reservada a meios acadêmicos.

Pode-se dizer que esse foi o berço para a estruturação da internet, visto que, foi nessa época onde começou-se a debater a computação ubíqua (*ubicomp* em inglês), fazendo com que as máquinas ganhassem a habilidade de notificar o seu inventário e a temperatura. E poucos anos depois, em 1991, Mark Weiser (1991) publicou o seu trabalho sobre “*The Computer of the 21st Century*”, que divulgou o conceito de Internet das Coisas (doravante IoT). Internet das coisas é um conceito que dispõe que a maioria dos dispositivos que nos auxilia, e que utilizamos diariamente, está conectada entre si e pela internet. Como cita os autores Mattern e Floerkemeier (2010, s.p.),

A internet das coisas representa uma visão em que a internet se estende ao mundo real, abraçando objetos do cotidiano. Itens físicos não são mais desconectados, mas sim controlados remotamente. A internet das coisas torna a computação verdadeiramente onipresente.

O interesse em torno da Internet das coisas vem crescendo exponencialmente, assim como a idealização de projetos que utilizam essa tecnologia. As inúmeras possibilidades de aplicação da IoT colocaram esse recurso no topo da transformação digital nos negócios. A IoT pode ser definida como uma comunicação máquina a máquina (*M2M*), via Internet. A tecnologia permite que diferentes objetos, de carros a máquinas industriais, por exemplo, compartilhem dados e informações entre si. A fim de concluir determinadas tarefas. A base para o funcionamento da IoT são sensores e dispositivos, que tornam a comunicação entre as “coisas” possível. A IoT pode ser aplicada em diversos setores, seja para otimizar as atividades de uma indústria ou facilitar a vida do homem.

Atualmente, já é possível observar os resultados concretos do aprimoramento da conectividade proporcionada pela internet. Um dos principais pilares desse avanço é a Internet das Coisas (IoT), cujos conceitos fundamentais foram introduzidos por Weiser (1991), amplamente reconhecido como o "pai da Computação Ubíqua". A figura 1 resume e mostra uma ideia simplificada de Internet das Coisas, de que qualquer objeto pode se conectar à Internet.

**Figura 1: EXEMPLO DE INTERNET DAS COISAS**



Fonte: A Evolução da Internet (Neves, 2017).

A base de IoT proporciona a integração de utensílios em redes de todos os tipos. Esta integração proporciona uma mudança tanto na comunicação quanto nos serviços oferecidos via internet. As coisas contidas neste conceito resumem-se em qualquer objeto físico como, por exemplo, lâmpadas, geladeiras e até roupas, que seja capaz de coletar e/ou transmitir informações. Segundo

A Internet das Coisas, em poucas palavras, nada mais é que uma extensão da Internet atual, que proporciona aos objetos do dia-a-dia (quaisquer que sejam), mas com capacidade computacional e de comunicação, se conectarem à Internet. A conexão com a rede mundial de computadores viabilizará, primeiro, controlar remotamente os objetos e, segundo permitir que os próprios objetos sejam acessados como provedores de serviços (Santos et al. 2017).

Essas características permitem que os objetos coletem informações do ambiente e as compartilhem entre si e/ou com dispositivos computacionais. Embora a Internet das Coisas (IoT) seja uma tecnologia útil e baseada em um conceito aparentemente simples, sua implementação envolve diversos elementos que precisam ser considerados para que a abstração se transforme em realidade. Compreender os componentes fundamentais que estruturam a IoT é essencial para alcançar uma compreensão mais clara de seu funcionamento e de seu real significado, conforme Al-Fuqaha (2015). É possível modelar um sistema IoT em seis elementos, conforme figura 2.

**Figura 2: ELEMENTOS IOT**



Fonte: Al-Fuqaha (2015).

Os estudos de Al-Fuqaha (2015) descrevem seis elementos fundamentais da Internet das Coisas (IoT). Identification nomeia e endereça serviços e dispositivos (ex: EPC para varejo, IPv4/IPv6 para endereçamento IP). Sensing coleta dados através de sensores para bancos de dados corporativos. Communication estabelece conexão entre dispositivos via tecnologias de baixo consumo como Bluetooth, Wi-Fi, RFID e NFC (conceito de Green IoT). Computation processa e executa operações nos dados captados (ex: Arduino para hardware, Cloud Computing para software). Services são os serviços viabilizados pela IoT, como agregação de informações e automação. Por fim, Semantics permite extrair, interpretar e aplicar conhecimento de forma inteligente, garantindo a compreensão e o uso correto dos dados para tomada de decisões.

Com o avanço da tecnologia e sua crescente presença em praticamente todos os aspectos da sociedade contemporânea, tornou-se comum atribuir à atualidade a origem de mecanismos amplamente utilizados no cotidiano. No entanto, muitos dos dispositivos que hoje fazem parte da rotina — como smartphones, automóveis e eletrodomésticos — já incorporam sensores, cuja concepção remonta a períodos anteriores ao atual estágio tecnológico.

Em termos básicos, um sensor é um dispositivo capaz de responder a um estímulo físico de forma específica, convertendo-o em outra grandeza física mensurável, com o objetivo de realizar medições e/ou monitoramento, conforme Balbinot, e Brusamarello, (2011). Embora seu uso esteja fortemente associado a sistemas elétricos e mecânicos modernos, os sensores têm uma trajetória histórica bem mais extensa. No contexto deste trabalho, será utilizado um sensor específico para a detecção do gás dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) — um dos componentes responsáveis pela formação da chuva ácida — cuja aplicação será descrita de forma mais detalhada na seção analítica *da descrição da proposta*.

É comum quando se fala sobre sistemas computacionais e suas ramificações, que as pessoas associem imediatamente esses conceitos a elementos visíveis do seu cotidiano digital, como sites, aplicativos de mensagens, serviços bancários online e outras ferramentas com as quais interagem por meio de computadores e smartphones. No entanto, muitas vezes não percebem que diversos dispositivos presentes em suas próprias residências — como

eletrodomésticos, aparelhos de comunicação, periféricos de computador e consoles de videogames — são operados por sistemas embarcados, que funcionam de maneira discreta, porém essencial. Esses sistemas, que operam “nos bastidores” da tecnologia cotidiana, são frequentemente denominados sistemas ubíquos (Qing; Yao, 2003). Por definição, sistemas ubíquos são aqueles integrados ao ambiente de forma imperceptível, mas que oferecem serviços computacionais de maneira contínua e adaptada ao contexto do usuário. Por definição,

[...] um sistema é classificado como embarcado quando este é dedicado a uma única tarefa e interage continuamente com o ambiente a sua volta por meio de sensores e atuadores [...]. Por exigir uma interação contínua com o ambiente, este tipo de sistema requer do projetista um conhecimento em programação, sistemas digitais, noções de controle de processos, sistemas de tempo real, tecnologias de aquisição de dados (conversão analógico/digital e sensores) e de atuadores (conversão digital/analógico, acionamento eletromecânico e PWM), e cuidados especiais na eficiência de estruturação do projeto e do código produzido (Chase, 2007, p. 3).

Dentro do escopo de sistemas embarcados, existe uma vertente que trata especificamente sobre estes sistemas utilizados em aplicações que devem possuir capacidade de extrair informações em tempo real, conforme descreveu Shaw (2003). Na definição de Alan Shaw (2003), os sistemas de tempo real são sistemas que monitoram, respondem ou controlam um ambiente externo. Tal ambiente está conectado ao sistema de computação através de sensores, atuadores e outras interfaces de E/S. Os sistemas de tempo real devem cumprir restrições do mundo externo. Segue a seção relacionada aos problemas ambientais e o enfoque do trabalho.

## **2.2. DESAFIOS AMBIENTAIS NAS ZONAS URBANA E RURAL: ENFOQUE NA CHUVA ÁCIDA**

Segundo Carneiro; Sandroni (2019), os termos rural e urbano são amplamente utilizados para descrever diferentes territórios, levando em consideração aspectos socioeconômicos, demográficos e culturais. De modo geral, o espaço rural é caracterizado por uma baixa densidade populacional e pela predominância de atividades ligadas à agricultura e ao setor primário da economia. Já o espaço urbano se destaca pela alta concentração populacional e pelo domínio das atividades industriais, comerciais e de serviços conforme Araujo; Alves (2023).

A distinção entre campo e cidade é um tema frequente em estudos sociológicos, políticos e culturais, especialmente quando se analisa a organização social e as dinâmicas específicas desses ambientes. De acordo com Whitacker (2010, p.189) há uma concordância entre diversos autores de que “cidade e campo são dimensões ao mesmo tempo distintas e complementares da existência social e, como característica comum, são formas espaciais”. O campo costuma ser associado a uma estrutura social tradicional e laços comunitários mais fortes. Por outro lado, a cidade é marcada por uma população diversificada, por uma economia ampla e dinâmica e por formas de organização social mais flexíveis e complexas, conforme Araujo; Alves (2023). Para Souza (2010), compreender a separação entre o rural e o urbano exige uma visão integrada, que considere não apenas suas diferenças, mas também as conexões, tensões e influências recíprocas, especialmente dentro do contexto do capitalismo contemporâneo. Essa abordagem permite uma leitura mais completa das transformações sociais, econômicas, culturais e políticas que moldam a sociedade atual.

No campo das transformações provocadas pelo avanço das atividades humanas e industriais, conforme Mendonça e Ramalho (2009) chamam atenção para um fenômeno ambiental significativo: a chuva ácida. Esse processo ocorre, sobretudo, em áreas fortemente industrializadas e consiste em uma precipitação com alto teor de acidez. Ela é causada pela liberação de compostos como dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ) e óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ), que, ao se misturarem com o vapor d'água da atmosfera, originam ácidos que se espalham pelas nuvens, precipitando-se como chuva, neblina ou neve.

A chuva ácida, termo cunhado em 1852 por Robert Angus Smith ao estudar a poluição industrial em Manchester e, representa uma grave ameaça ambiental, acidificando solos e águas, prejudicando ecossistemas, saúde humana e fauna. Sua origem pode ser natural (vulcões, processos biológicos) ou antrópica (indústrias e veículos que queimam combustíveis fósseis, liberando dióxido de enxofre e nitrogênio). Embora precipitações naturais possam ser levemente ácidas (pH 5,4-5,2 devido ao  $\text{CO}_2$  vulcânico), a chuva ácida mais intensa e frequente resulta da atividade humana, com pH variando de 4,9 a 1,9 devido à emissão de  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}_2$  e  $\text{NO}_2$ , tornando-a altamente prejudicial, conforme Abdo (2012).

Na agricultura, os impactos da chuva ácida são amplos e preocupantes. Ela pode provocar a morte de plantações e árvores, além de remover nutrientes essenciais do solo, como cálcio, magnésio e potássio. Mendonça, Ramalho, (2009); e também Neves, (2017) descrevem que ao atingir as plantas, os ácidos presentes na precipitação causam danos diretos às folhas, que são essenciais para o processo de fotossíntese. Além disso, a acidificação do solo altera o equilíbrio químico do ecossistema agrícola. Historicamente, temos

que o agravamento da situação ambiental no planeta não é decorrente dos dias atuais, engana-se quem acusa, incondicionalmente, as fábricas e automóveis, como responsáveis primogênitos da degradação ambiental. Por pior que seja, o problema não se reserva a origem dos poluentes, mas sim ao fluxo que esses poluentes fazem, atingindo aos campos e colheitas, como pode ser visto a necessidade desse monitoramento na Figura 3.

**Figura 3: VISÃO MACRO DO PROJETO**



Fonte: Libelium, 2018.

Tendo por base essas informações, justifica-se a necessidade de planejar e analisar a contaminação nas áreas rurais. Além de sugerir alternativas de captação de índices que podem auxiliar no monitoramento.

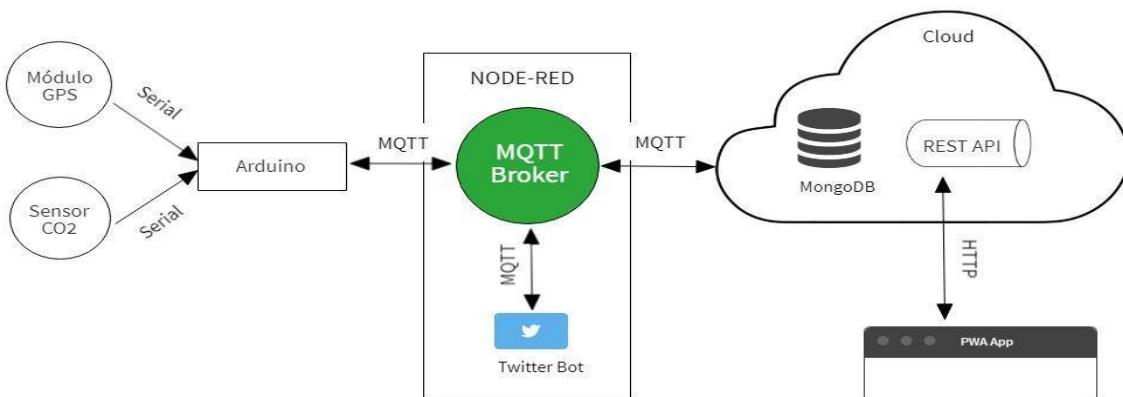
### Procedimentos metodológicos da proposta

A presente pesquisa possui abordagem qualitativa e natureza descritiva, desenvolvida com base em publicações científicas, livros, artigos, sites e plataformas especializadas. A pesquisa bibliográfica permite a construção de um referencial teórico sólido, possibilitando a identificação, análise e interpretação de diferentes perspectivas sobre o fenômeno investigado. Foram selecionadas fontes que abordam tanto os aspectos ambientais quanto tecnológicos relacionados ao tema, com ênfase em autores que tratam das interações entre poluição atmosférica e o uso de tecnologias como a Internet das Coisas (IoT). Essa abordagem favorece uma compreensão crítica e aprofundada dos impactos ambientais discutidos, considerando o acúmulo e a sistematização do conhecimento já produzido sobre o assunto.

## Análise de dados: descrição da proposta

É possível resumir a proposta em um fluxo simples, onde gases tóxicos saem de uma origem urbana e se dirigem à uma área rural, onde um protótipo do projeto estará instalado e começará a capturar dados e monitorar o ambiente. Conforme foi apresentado na figura 3 e na seguinte 4, é possível ter uma visão mais clara do fluxo. A Visão Geral da Arquitetura se apresenta na figura 4 demonstrando de forma mais técnica, se comparada à figura 3, a arquitetura do sistema e o fluxo de dados.

**Figura 4: VISÃO ARQUITETURAL**



Fonte: Libelium, 2018.

O microcontrolador Arduino foi escolhido como base, especialmente na etapa inicial, focada na captação de dados de geolocalização e CO<sub>2</sub>. baseado no Site oficial do Arduino (2025). É uma plataforma, de código aberto, acessível para iniciantes, e flexível para usuários avançados sendo compatível com diversos sistemas operacionais. Embora o projeto inicialmente previsse a medição de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), Dióxido de Nitrogênio (NO<sub>2</sub>) e Dióxido de Enxofre (SO<sub>2</sub>), apenas o dióxido de carbono foi viável economicamente e em termos de confiabilidade. A viabilidade de simular os gases NO<sub>2</sub> e SO<sub>2</sub> ainda será avaliada, com destaque para o SO<sub>2</sub>, importante na formação de chuvas ácidas. Apesar do sensor MQ135 não medir diretamente o CO<sub>2</sub>, é possível estimá-lo por meio de cálculos baseados em estudos de Davide Gironi, (2025) referenciados na wiki Arduino Playground.

**Tabela 1: ITENS UTILIZADOS NO MICROCONTROLADOR**

Item	Descrição
MQ-135	Sensor de qualidade do ar
NEO-6M	Módulo de GPS

Fonte: produzido pelos autores.

Para comunicar o sensor MQ-135 com o Arduino, que será utilizado com o auxílio de fios jumpers uma Protoboard, que é uma placa de ensaio com furos e conexões condutoras para montagem de circuitos elétricos. A comunicação se dará através de uma interface serial. A tabela 2 mostra a configuração de conexão dos pinos do sensor MQ-135 com o microcontrolador. Os pinos Vcc e GND servem para alimentação, os pinos A0 e D0 servem ainda para despacho de sinais elétricos, sendo o A0 para sinais analógicos e o D0 para sinais digitais.

**Tabela 2: CONEXÃO MQ-135 COM ARDUINO.**

Pino sensor MQ-135	Pino Arduino
Vcc	5V
GND	GND
A0	A2
D0	7

Produzido pelos autores (2025).

Para comunicar o módulo de geolocalização NEO-6M com o Arduino, também será utilizado a Protoboard utilizando fios *jumpers* e através de interface *serial*. A tabela 3 mostra

a configuração de conexão dos pinos do GPS NEO-6M com o microcontrolador (u-blox 6 GPS Modules).

**Tabela 3: CONEXÃO NEO-6M COM ARDUINO.**

Pino GPS NEO-6M	Pino Arduino
Vcc	5V
RX	Pino 9
TX	Pino 8
D0	7

Produzido pelos autores (2025).

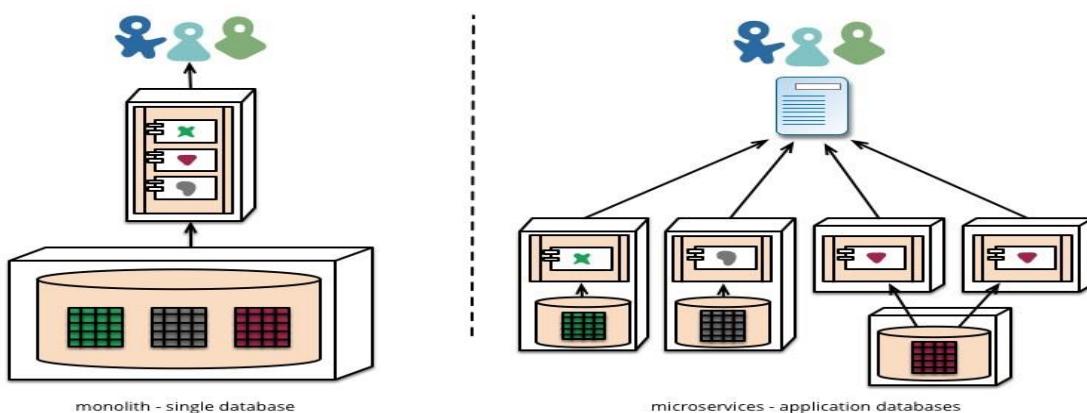
O ciclo de processamento dos dados foi estruturado para armazenar e exibir informações coletadas por meio de uma aplicação web/mobile, como listas de estações e gráficos históricos. Para isso, será utilizado o banco de dados MongoDB ([Site oficial do MongoDB, 2029]), um sistema NoSQL escolhido por ser open-source, flexível, de alto desempenho e escalável (FATIMA; WASNIK, 2016). A implantação será realizada por meio da plataforma mLab ([Site oficial do mLab, 2025]), um serviço em nuvem baseado no modelo DBaaS (Database as a Service), que simplifica a utilização ao hospedar toda a infraestrutura necessária. O mLab oferece um plano gratuito com até 0,5 GB de armazenamento na AWS, incluindo URI de conexão e ferramentas de gerenciamento.

Na fase de processamento, será utilizada a ferramenta Node-RED, uma plataforma de programação visual orientada a fluxos, que fará a integração entre o MQTT Broker e um bot do Twitter, responsável por publicar periodicamente os níveis de CO<sub>2</sub> de cada estação. Desenvolvida pela IBM, a Node-RED possui uma comunidade ativa e disponibiliza *nodes* prontos, como o do Twitter, facilitando a integração com APIs.

O nó (*nodes*) MQTT será responsável pela comunicação entre o Arduino, o bot do Twitter e o banco de dados hospedado na AWS. Além disso, será desenvolvida uma API REST

em Node.js, estruturada com base na arquitetura de micro serviços, que consumirá os dados armazenados para alimentar a aplicação cliente. Essa abordagem arquitetônica proporciona maior flexibilidade e escalabilidade, ao permitir a descentralização dos componentes do sistema. A Figura 5 apresenta um comparativo entre as arquiteturas monolítica e de micro serviços.

**Figura 5: COMPARAÇÃO DE ARQUITETURA MONOLÍTICA E DE MICROS SERVIÇOS.**



Fonte: CodeGravity. Emerging Trend Of Java EE Microservices

Inicialmente, serão desenvolvidos dois micro serviços: gateway e station. O gateway atuará como intermediário entre a aplicação cliente e os demais serviços, centralizando as requisições, reduzindo o acoplamento e reforçando a segurança. Já os micro serviços station (Microsoft) serão responsáveis por operações com estações de captação, como listagem, detalhamento e filtragem. Essa API será implantada no Heroku, (Site oficial do Heroku) plataforma baseada em PaaS (Platform as a Service), que facilita a implantação de aplicações na nuvem.

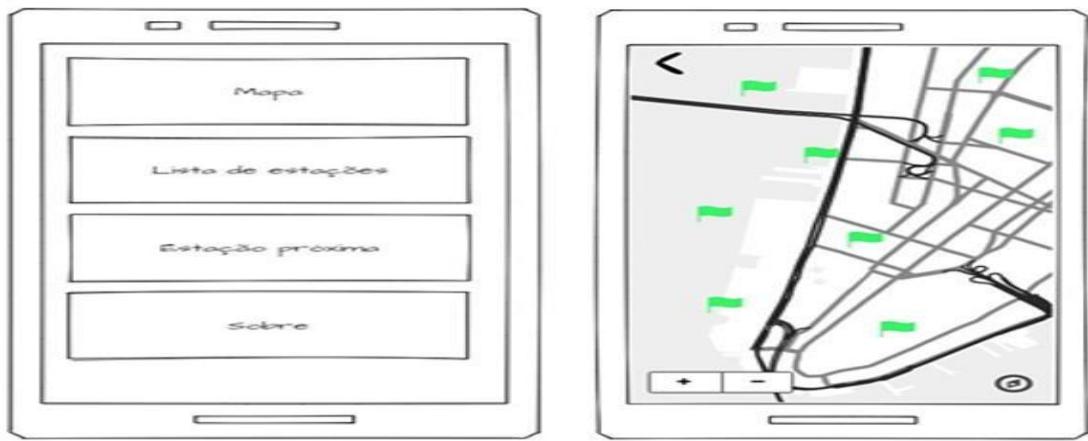
Numa fase final do projeto, será desenvolvida uma plataforma web e mobile para apresentar ao usuário os dados processados. A web servirá como porta de entrada para descoberta, enquanto os aplicativos mobile garantirão o engajamento contínuo. Para oferecer uma excelente experiência, será adotado o uso de Progressive Web Apps (PWAs), unindo acessibilidade da web com funcionalidades de apps nativos.

Progressive Web Apps (PWAs) são aplicações web que combinam funcionalidades de sites e apps nativos. Criado em 2015 por Alex Russell e Frances Berriman, o conceito define PWAs como confiáveis (funcionam offline), são rápidos e engajadores. Eles podem ser instalados diretamente pelo navegador, sem necessidade de lojas de apps. Além disso, o desenvolvimento é mais ágil, pois a mesma aplicação funciona em múltiplos dispositivos. Tecnologias como service workers (para funcionamento offline e notificações) e o manifesto web (configurações de instalação) são essenciais na criação de um PWA.

Uma das grandes vantagens dos PWAs é a agilidade no desenvolvimento, já que a mesma aplicação funciona em diversos dispositivos. Isso é possível graças à configuração de service workers, que garantem recursos como funcionamento offline, sincronização em segundo plano e notificações push. Também é necessário configurar o manifesto web, um arquivo JSON que define como o app será exibido no dispositivo, incluindo nome e ícone. As PWAs oferecem ótima experiência de usuário ao evitar o processo de download e instalação de aplicativos tradicionais. Em vez disso, o usuário pode instalar o PWA diretamente do navegador com uma permissão. Para garantir a qualidade, será utilizada a ferramenta Lighthouse para auditoria e boas práticas. O desenvolvimento será feito com a biblioteca JavaScript React, baseada em componentes reutilizáveis. A tela inicial do aplicativo funcionará como uma gaveta de módulos com opções como Mapa, Lista de estações, Estação mais próxima e Sobre.

O resultado que o Lighthouse fornece na figura em questão (Figura 7), informa que o aplicativo possui regras CSS sem uso, imagens grandes e não otimizadas e outras informações. E a figura 8 mostra a tela respectiva ao módulo “Mapa” exibido na tela inicial. Nesta tela será consumido a API do Google Maps para apresentar ao usuário um mapa interativo, que exibirá as estações disponíveis e suas respectivas localizações geográficas. Ao clicar sobre uma estação o usuário será redirecionado para a tela desta estação.

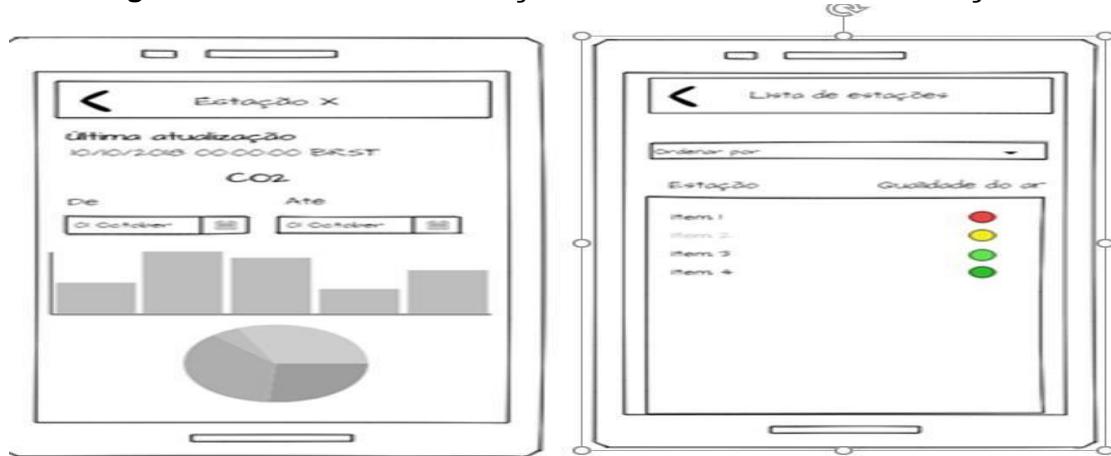
**Figura 7 e 8: TELA INICIAL E TELA DO MAPA**



Fonte: Lighthouse

A figura 9 mostra a tela respectiva à uma estação de captação específica. Nesta tela será exibido informações como: data e hora da última captação dos dados e gráficos com níveis de representação do CO<sub>2</sub>, com a possibilidade de ordenação por um período de datas. A figura 10 mostra a tela respectiva ao módulo “Lista de estações” exibido na tela inicial. Nesta tela será listado todas as estações existentes, com um índice geral de qualidade do ar visualmente classificado por cores e a possibilidade de ordenar as estações por qualidade do ar.

**Figura 9 e 10: TELA DA ESTAÇÃO E TELA DA LISTA DE ESTAÇÕES**



Fonte: Lighthouse

O objeto deste trabalho foi realizar um estudo e desenvolver uma estruturação de um protótipo para o monitoramento de gases causadores de chuvas ácidas e seus efeitos, com

foco em áreas rurais. O primeiro passo foi identificar, através de estudos sobre IoT, as principais características que podem ser consideradas relevantes na construção desse protótipo. Dito isso, um conjunto de seis estados principais da IoT foi identificado e, em seguida, estudadas e detalhadas isoladamente. Esse trabalho procurou destacar e diferenciar os conceitos e dispositivos que irão compor o protótipo, exemplificando o seu funcionamento e enfatizando a estrutura.

Diante dos desafios enfrentados pela agricultura moderna, especialmente no que se refere ao impacto ambiental e à necessidade de maior eficiência produtiva, este trabalho evidencia a relevância da aplicação de tecnologias emergentes, como a Internet das Coisas (IoT), no monitoramento ambiental. O desenvolvimento do protótipo demonstrou que é possível integrar dispositivos automatizados e comunicativos para coletar e analisar dados em tempo real, contribuindo para a tomada de decisões mais precisas no campo. Ao identificar as chuvas ácidas como um fator crítico de poluição e desequilíbrio ecológico, reforça-se a importância de sistemas inteligentes capazes de antecipar e mitigar seus efeitos. Assim, conclui-se que a IoT representa uma ferramenta promissora na construção de práticas agrícolas mais sustentáveis e resilientes, alinhadas às exigências contemporâneas de inovação e preservação ambiental.

## CONCLUSÃO

A Internet das Coisas desempenha um papel importante nas sociedades atuais. A união e conversação entre tecnologias, objetos e vice-versa, só tendem a gerar otimizações e confortos. Infelizmente, conforme a humanidade se dirige ao conforto e desenvolvimento, mais o meio ambiente se prejudica através da poluição. As chuvas ácidas são uma causa dessa poluição e tendem a esterilizar ecossistemas e plantações quando ocorrem. Decorrente da possibilidade de desequilíbrios ecológicos, foi visto a necessidade de monitorar e capturar os níveis de poluição nessas zonas. Dessa forma, utiliza-se IoT para almejar soluções e prevenções que possam ser vistas e consumidas por qualquer dispositivo conectado a uma rede. Nesse sentido, a utilização dos conceitos e recursos da IoT irá permitir que gestores empresariais e rurais gerenciem e inspecionem a emissão e as causas de gases poluentes, respectivamente.

## REFERÊNCIAS

- ABDO, Marcos; et all. A poluição do ar e o sistema respiratório. **J Bras Pneumol.** v 38, n..5, pp.643-655. 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/jbpneu/a/sD3cLkXqQwmDFpgzsyj7gBm/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em maio de 2025.
- AL-FUQAHA, A. et al. Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications. In **IEEE communication surveys & tutorials**, Vol. 17, no. 4, fourth quarter. pp 2347-2366. 2015. Disponível em: <https://fardapaper.ir/mohavaha/uploads/2018/10/Fardapaper-Internet-of-Things-A-Survey-onEnabling-Technologies-Protocols-and-Applications.pdf>. Acesso em maio de 2025.
- ARAUJO, M.P. ALVES, D. A. Diferenças teóricas e conceituais entre rural/urbano e campo/cidade. In: **[Anais...]** I congresso Internacional e IV congresso nacional de desenvolvimento regional. Conflitos globais e suas repercussões no território. 17 a 18 de agosto de 2023. Disponível em: [https://www2.faccat.br/portal/sites/default/files/ckeditorfiles/anias2023mest/032\\_anais\\_mestrado.pdf](https://www2.faccat.br/portal/sites/default/files/ckeditorfiles/anias2023mest/032_anais_mestrado.pdf). Acesso em maio de 2025.
- BALBINOT, A.; BRUSAMARELLO, V. J. **Instrumentação e Fundamentos de Medidas** Vol. 2. Rio de Janeiro: LTC. Livros Técnicos e Científicos. Editora Ltda, 2011. ISBN: 9788521635840
- BOULEVARD, Wilson. **Protocolo De Internet**. Agência de Projetos de Pesquisa Avançada de Defesa. Escritório de Técnicas de Processamento de Informação. Instituto de Ciências da Informação. Universidade do Sul da Califórnia. California: [s.n.]. janeiro de 1980. Disponível em: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc760>. Acesso em maio de 2025.
- BRENA, Nilson. **A chuva ácida e os seus efeitos sobre as florestas**. [S.I.]: [s.n.], [s.d.]. Disponível em: [http://www.nilsonantoniobrena.com.br/a\\_chuva\\_acida.pdf](http://www.nilsonantoniobrena.com.br/a_chuva_acida.pdf). Acesso em: 28 maio 2025. Acesso em maio de 2025.
- BRIMBLECOMBE, P. **The Big Smoke: A History of Air Pollution in London since Medieval Times**. New York: Methuen & Co. 1987.
- CARNEIRO, M. J.; SANDRONI, L. Tipologias e significados do “rural”: uma leitura crítica. In: LEITE, S. P.; BRUNO, R. (org.). **O rural brasileiro na perspectiva do século XXI**. Rio de Janeiro, RJ: Garamond, 2019, p. 44-58.  
Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7940198>. Acesso em maio de 2025.
- CHASE, O. **Sistemas embarcados**. [S.I.]: [s.n.], 2007. Disponível em: <https://www.lyfreitas.com.br/ant/pdf/Embarcados.pdf>. Acesso em maio de 2025.
- FATIMA, H.; WASNIK, K. **Comparison of SQL, NoSQL and NewSQL databases for internet of things**. In: 2nd Bombay Section Symposium (IBSS). Baramati, India: IEEE, 2016. p. 1–6. Disponível em: International Journal of Advances in Electronics and Computer Science, ISSN: 2393-2835.

GIRONI, D. **From the Internet of Computers to the Internet of Things**. Distributed Systems Group, Institute for Pervasive Computing, Zurich: ETH Zurich, [s.d.]. Disponível em: <https://vs.inf.ethz.ch/publ/papers/Internet-of-things.pdf>. Acesso em: 28 maio 2025.

GIRONI, D. **Cheap CO<sub>2</sub> meter using the MQ135 sensor with AVR ATmega**. [S.l.: s.n.], 2014. Disponível em: <https://davidegironi.blogspot.com/2014/01/cheap-co2-meter-usingmq135-sensor-with.html>. Acesso em: 28 maio 2025.

HAMLIN, C. Peter Brimblecombe. **The Big Smoke: A History of Air Pollution in London since Medieval Times**. New York: Methuen & Co. 1987. Disponível em: <http://fingfx.thomsonreuters.com/gfx/ce/1/196/196/The%20Big%20Smoke.pdf>. Acesso em maio de 2025.

MATTERN, F.; FLOERKEMEIER, C. **From the Internet of Computers to the Internet of Things**. Zurich: ETH Zurich, Distributed Systems Group, Institute for Pervasive Computing, 2010. Disponível em: <https://vs.inf.ethz.ch/publ/papers/Internet-of-things.pdf>. Acesso em: 28 maio 2025.

MENDONÇA, L.S.; RAMALHO, M. D. **Jogo de Partículas**: Física e Química. 1<sup>a</sup> ed., 4<sup>a</sup> tir. Lisboa: Texto, 2009. ISBN 978-972-47-3662-4. Disponível em: <https://bibliografia.bnportugal.gov.pt/bnp/bnp.exe/registo?1775707>. Acesso em maio de 2025.

MIRLEAN, N.; VANZ, A.; BAISCH, P. Níveis e origem da acidificação das chuvas na região do Rio Grande, RS. **Revista Química Nova**. v. 23 n. 5: 591-593, 2000. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/GPpPqMYL7WPm7XDkhjr3PFG/>. Acesso maio de 2025.

NEVES, J. P. **Uma abordagem para gerenciamento de fluxo de dados da Internet da Coisas**. 2017.(Dissertação de mestrado) Programa de Pós-Graduação em Informática Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Exatas. Paraná, Curitiba, 14/09/2017. Disponível em: <http://educapes.capes.gov.br/handle/1884/52808>. Acesso em maio de 2025.

PALERMO, F. Internet of Things Done Wrong Stifles Innovation. In: **InformationWeek**, v.1, jul. 2014. Disponível em: <https://www.informationweek.com/strategic-cio/executive-insightsand-innovation/internet-of-things-done-wrong-stifles-innovation/a/d-id/1279157>. Acesso em: 28 maio 2025.

QING, L.; YAO, C. **Real-Time Concepts for Embedded Systems**. Brasília. 2003. Editora, CMP;2003.

REDAÇÃO NATIONAL GEOGRAPHIC BRASIL. Origem da Internet ("Arpanet"). **National Geographic Brasil**, 16 maio 2024. Disponível em: <https://www.nationalgeographicbrasil.com/historia/2024/05/qual-e-a-origem-da-internet>. Acesso em: 28 maio 2025.

RUSSEL, A. **Progressive Web Apps: Escaping Tabs Without Losing Our Soul**. 2015 Disponível em: <https://infrequently.org/2015/06/progressive-apps-escaping-tabs-withoutlosing-our-soul/>. Acesso em maio de 2025.

SANTOS, B. P., et al. **Internet das Coisas**: da Teoria à Prática. Departamento de Ciência da Computação. Ed. Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) Belo Horizonte, MG,

Brasil. 2017. Disponível em:  
<https://homepages.dcc.ufmg.br/~mmvieira/cc/papers/internetdas-coisas.pdf>. Acesso em maio de 2025.

SHAIKH, F. K., et al. Enabling Technologies for Green Internet of Things. In: **IEEE Systems Journal**, vol. 11, no. 2, june 2017. Disponível em:  
<https://people.cs.pitt.edu/~mosse/courses/cs3720/enabling-green-iot.pdf>. Acesso em maio de 2025.

SHAW, A. C. **Sistemas e Software de Tempo Real**. Porto Alegre: *Editora, Bookman, 2003.*

SOUZA, S. T. Relação campo–cidade: em busca de uma leitura dialética para a compreensão desses espaços na atualidade. In: LOPES, D. M. F.; HENRIQUE, W. (org.). **Cidades médias e pequenas: teorias, conceitos e estudos de caso**. Salvador: SEI, 2010, p. 195-208. Disponível em:  
[http://www2.fct.unesp.br/docentes/geo/magaldi/REDES\\_URBANAS/conteudos%20novos/cidades%20m%E9dias%20e%20pequenas%20teorias%2C%20conceitos%20e%20estudos%20de%20caso.pdf](http://www2.fct.unesp.br/docentes/geo/magaldi/REDES_URBANAS/conteudos%20novos/cidades%20m%E9dias%20e%20pequenas%20teorias%2C%20conceitos%20e%20estudos%20de%20caso.pdf). Acesso em maio de 2025.

VIEIRA, A.; ALBERTO C.; ZAMBALDE A. **Um Sistema Especialista para o Cálculo da Necessidade de Calagem e Recomendação de Corretivo**. [S.I.]: [s.n.], [s.d.]. Disponível em: <http://www.dcc.ufla.br/infocomp/index.php/INFOCOMP/article/view/74/59>. Acesso em maio de 2025.

WEISER, M. The Computer for the 21st Century. In: **Scientific American**, v. 265, n. 3, p. 94104, 1991. Disponível em: <https://ics.uci.edu/~corps/phaseii/Weiser-Computer21stCenturySciAm.pdf>. Acesso em maio de 2025.

WHITACKER, A. M. **Cidades médias e pequenas**: teorias, conceitos e estudos de caso. Salvador: SEI, p. 187- 194, 2010.

## REFERÊNCIAS DE SITES E PLATAFORMAS OFICIAIS

**Site oficial do CodeGravity. Emerging Trend Of Java EE Microservices.** Disponível em: <http://www.codegravity.com/blog/emerging-trend-of-java-ee-microservices>. Acesso em maio de 2025.

**Site oficial do Making Web Sites Look Like Native Apps Without the App Store.** Disponível em: <https://csharpcorner-mindcrackerinc.netdna-ssl.com/article/making-web-siteslook-like-native-apps-without-the-app-store>. Acesso em maio de 2025.

**Site oficial do Microcontrollertips.** Disponível em:  
<https://www.microcontrollertips.com/faqreal-time-mean>. Acesso em maio de 2025.

**Site oficial do Microservices.** Lewis, Fowler, 2014. Disponível em:  
<https://martinfowler.com/articles/microservices.html>. Acesso em maio de 2025.

**Site oficial do Microsoft. Padrão de Gateway de API Versus Comunicação Direta de Cliente com Micro Serviço.** Disponível em:  
<https://docs.microsoft.com/ptbr/dotnet/standard/microservices-architecture/architect->

[microservice-containerapplications/direct-client-to-microservice-communication-versus-the-api-gateway-pattern.](#)

Acesso em maio de 2025.

**Site oficial da Plataforma da Qualidade do Ar.** Disponível em: <http://qualidadedoar.org.br/>.

Acesso em maio de 2025.

**Site oficial do Arduino Playground.** Disponível em:

<https://playground.arduino.cc/Main/MQGasSensors>. Acesso em maio de 2025.

**Site oficial da Amazon sobre Amazon Web Services.** Disponível em:

<https://aws.amazon.com/pt/>. Acesso em maio de 2025.

**Site oficial da API do Google Maps.** Disponível em:

<https://cloud.google.com/mapsplatform/?hl=pt-BR>. Acesso em maio de 2025.

**Site oficial da API do Twitter.** Disponível em: <https://developer.twitter.com/en/docs.html>.

Acesso em maio de 2025.

**Site oficial do Google sobre Progressive Web Apps.** Disponível em:

<https://developers.google.com/web/progressive-web-apps/>. Acesso em maio de 2025.

**Site oficial do Google sobre Service Workers.** Disponível em:

<https://developers.google.com/web/fundamentals/primers/service-workers/?hl=pt-br>. Acesso em maio de 2025.

**Site oficial do Google sobre Web App Manifest.** Disponível em:

<https://developers.google.com/web/fundamentals/web-app-manifest/>. Acesso em maio de 2025.

**Site oficial do Heroku.** Disponível em: <https://www.heroku.com/>. Acessado em novembro de 2018.

**Site oficial do Lighthouse.** Disponível em:

<https://developers.google.com/web/tools/lighthouse/?hl=pt-br>. Acesso em maio de 2025.

**Site oficial do mLab.** Disponível em: <https://mlab.com/>. Acesso em maio de 2025.

**Site oficial do MongoDB.** Disponível em: <https://www.mongodb.com/>. Acesso em maio de 2025.

**Site oficial do Node.js.** Disponível em: <https://nodejs.org/en/>. Acesso em maio de 2025.

**Site oficial do Node-RED.** Disponível em:

<https://nodered.org/docs/user-guide/editor/>. Acesso em maio de 2025.

**Site oficial do React.** Disponível em: <https://reactjs.org/>. Acesso em maio de 2025.

**Site oficial do Libelium.** Disponível em:

[http://www.libelium.com/wpcontent/uploads/2018/08/captor\\_diagram\\_1100.png](http://www.libelium.com/wpcontent/uploads/2018/08/captor_diagram_1100.png).

Acesso em maio de 2025.

**Site oficial do u-blox 6 GPS Modules.** Disponível em:

[https://www.ublox.com/sites/default/files/products/documents/NEO-6\\_DataSheet\\_\(GPS.G6-HW09005\).pdf](https://www.ublox.com/sites/default/files/products/documents/NEO-6_DataSheet_(GPS.G6-HW09005).pdf). Acesso em maio de 2025.

**Site oficial do Web (mobile web) ou apps?;** Lima, ed. iMaster, 2016. Disponível em: <https://imasters.com.br/desenvolvimento/web-mobile-web-ou-apps-discussao-final>. Acesso em maio de 2025.