

# Rede de Sensores de Baixo Custo para Monitoramento da Qualidade do Ar na Cidade de Porto Alegre

Ramon Costa da Silva<sup>1</sup>, André Peres<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Campus Porto Alegre – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul(IFRS)  
90.035-007 – Porto Alegre – RS – Brazil

**Abstract.** *A poluição do ar é um problema de grande impacto na saúde da população e no desenvolvimento de grandes centros urbanos. A gestão da emissão de gases na atmosfera só pode ser efetiva se houverem mecanismos capazes de realizar o monitoramento dos elementos poluentes do ar. A tarefa de monitorar a qualidade do ar tem se mostrado complexa e de alto custo para a administração pública. Considerando a evolução tecnológica acompanhada pela queda de preços de componentes eletrônicos e difusão de soluções de hardware livre, propõe-se neste trabalho a realizar a construção de um nodo sensor capaz de monitorar alguns dos principais elementos poluentes do ar e disponibilizar estes dados em tempo real na internet.*

## 1. Introdução.

Alguns dos países mais industrializados encontram sérios problemas com o alto nível de poluentes em dispersão no ar. Um dos casos mais extremos relacionados ao alto nível de poluentes é a China onde, estima-se, morram cerca de 4 mil pessoas diariamente vítimas de problemas de saúde causados por poluentes atmosféricos. A mensuração da qualidade do ar é de extrema importância pois permite a criação de políticas para a redução e controle dos níveis dos contaminantes, além do desenvolvimento de políticas de saúde pública para problemas causados por altos níveis de contaminação do ar. [Rohde and Muller 2015]

Contaminantes são os componentes dispersos no ar em concentrações nocivas à saúde do ser humano, à biodiversidade e ao patrimônio. Um componente disperso no ar só é chamado de contaminante quando a sua concentração é mais elevada que os padrões estabelecidos como seguros. Os meios para medir a contaminação do ar podem ser biológicos, analógicos ou digitais. Os meios biológicos tratam no cultivo e análise de bioindicadores para a determinação das taxas de contaminação. Os analógicos medem através da análise de fenômenos físicos, como difração da luz causada por um contaminante isolado, e se faz a análise pela leitura de um dado analógico. Os métodos digitais trabalham a partir de sensores químicos ou físicos que geram sinais discretos que são interpretados por máquinas. As estações de monitoramento operantes hoje no estado do RS fazem uso de métodos analógicos e digitais, sendo as estações que contam com métodos digitais as responsáveis pela decodificação dos dados e amostras captados pelas estações que contam com equipamentos analógicos. Segundo a legislação brasileira, os critérios para qualificação da qualidade do ar são baseados nas concentrações de Partículas Inaláveis, Fumaça (cujo componente principal é o Dióxido de Carbono), Monóxido de Carbono, Dióxido de Enxofre, Dióxido de Nitrogênio e Ozônio.[CONAMA 1990]

Encontram-se na cidade de Porto Alegre hoje, algumas estações de medição da qualidade do ar, algumas dessas estações se encontram inoperantes devido aos altos custos de manutenção [Xavier 2015]. Apesar das insuficientes iniciativas para medição da qualidade do ar e do alto custo relacionado a elas, há uma necessidade crescente de obter as concentrações dos poluentes atmosféricos. O alto custo dos equipamentos presentes à venda e a baixa capacidade de adaptação dos mesmos à diferentes usos são um dos motivadores ao desenvolvimento desse projeto. A população de Porto Alegre carece de acesso de forma pública e atualizada da qualidade do ar em diversos pontos da cidade, o uso de sistemas distribuídos, de baixo custo (e baseados em Open Hardware) reduziriam esse déficit de informação.

## **2. Hipótese**

Devido à deficiência da estrutura para medição de contaminantes atmosféricos na cidade de Porto Alegre, seria possível desenvolver uma rede de sensores cujos sensores sejam baseados em tecnologias abertas atreladas a um sistema de divulgação de dados baseado em tecnologias de código aberto (Open Source)?

## **3. Fundamentação Teórica**

Nesta sessão serão abordadas as legislações ambientais do Brasil, Estados Unidos e sugeridas por órgãos internacionais. Também serão abordadas as legislações e soluções para monitoramento de contaminantes presentes no ar da cidade de Porto Alegre. O último aspecto apresentado será o conceito de Hardware Aberto (OPEN HARDWARE) e das tecnologias escolhidas para desenvolvimento do sensor.

### **3.1. Poluição do Ar**

De acordo com Daniel Vallero [Vallero 2008], o ar poluído naturalmente encontrado pode ter sua periculosidade classificada em três diferentes tipos de riscos: risco à saúde humana; risco à biodiversidade e ao meio ambiente; e risco de dano ao patrimônio. De acordo com o *Clean Air Act* de 1970 na definição dos padrões nacionais de qualidade do ar ambiente ficaram estabelecidos seis critérios de poluentes atmosféricos:

1. Material Particulado (Particulate Matter - PM)
2. Ozônio (O<sub>3</sub>)
3. Monóxido de Carbono (CO)
4. Dióxido de Enxofre (SO<sub>2</sub>)
5. Dióxido de Nitrogênio (NO<sub>2</sub>)
6. Chumbo (Pb)

Eles são chamados de padrões de qualidade do ar porque a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA - *US Environmental Protection Agency*) usa dois grupos de critérios para definir os padrões de poluentes do ar. Há a análise dos padrões primários de qualidade do ar, que são os limites seguros da concentração dos critérios para com a saúde humana. Para a definição dos limites secundários são levadas em consideração os limites de concentração dos critérios a apresentarem danos ao patrimônio, à biodiversidade, e ao meio ambiente. [Vallero 2008]. Segundo a Resolução CONAMA nº 003/1990 os padrões primários na análise da qualidade do ar, são calculados levando em consideração as concentrações de poluentes que quando ultrapassadas

poderão afetar a saúde da população, essas metas podem ser entendidas como metas de curto à médio prazo. Ainda de acordo com a Resolução CONAMA nº 3/1990 são considerados padrões secundários as concentrações de poluentes que abaixo delas se prevê o mínimo dano ao meio ambiente, ao bem estar da população e ao patrimônio, podem ser considerados como metas de longo prazo. A aplicação dos padrões de qualidade do ar prevê ainda a divisão do território nacional em três classes: I, II e III. A divisão das classes depende do uso pretendido das áreas englobadas pelas mesmas, quando não houver demarcação do território em uma classe, deve se usar os padrões primários. [CONAMA 1990]

A resolução 003/1990 do CONAMA estabelece criterios baseados nos níveis de concentração dos seguintes contaminantes:

1. Partículas Inaláveis
2. Fumaça
3. Monóxido de Carbono (CO)
4. Dióxido de Enxofre (SO<sub>2</sub>)
5. Dióxido de Nitrogênio (NO<sub>2</sub>)
6. Ozônio (O<sub>3</sub>)

Em âmbito nacional, as políticas de controle da qualidade do ar vem sofrendo diversas críticas quanto a defasagem dos critérios considerados na medição da qualidade do ar.

### **3.2. Qualidade do ar na cidade de Porto Alegre**

A Secretaria Municipal do Meio Ambiente possui três unidades para medição da qualidade do ar na cidade de Porto Alegre. A medição é realizada em diferentes pontos da cidade mas não contempla todos os critérios estabelecidos pela resolução do CONAMA em todos os pontos de medição. A unidade de medição mais antiga esta localizada na Avenida Borges de Medeiros desde o ano de 2009 e trabalha com os critérios: dióxido de enxofre, dióxido de nitrogênio, monóxido de nitrogênio e material particulado. Em 2010 foi instalada a segunda estação de medição na estação Azenha e mede apenas o critério monóxido de carbono. Em 2013 em uma parceria público-privada foi instalada a mais recente estação de medição no bairro Humaitá, ela faz análise dos poluentes monóxido de carbono, dióxido de enxofre, dióxido de nitrogênio, ozônio e material particulado[SMAM 2015]. A Fepam - Fundação Estadual de Proteção Ambiental - opera 3 unidades de medição da qualidade do ar na cidade, mas na data de elaboração desse artigo, as unidades estavam desativadas no aguardo de manutenção.[FEPAM 2015]

Apesar de existirem 6 estações de medição da qualidade do ar na cidade de Porto Alegre, a cidade não conta com uma forma de acesso às informações coletadas por estas estações. Os dados disponibilizados não estão atualizados e não há um portal que facilite o entendimento do público leigo quanto à qualidade do ar na cidade. Há apenas 2 unidades em operação na cidade e elas não operam com todas suas capacidades devido a falta de manutenção de alguns aparelhos utilizados para a medição, as únicas unidades em operação na cidade hoje são a unidade da Avenida Borges de Medeiros e a unidade Humaitá.[Xavier 2015] Segundo informações fornecidas no endereço eletrônico da Fepam as medidas da qualidade do ar de Porto Alegre são estimadas tomando por base as medições realizadas nas cidades da região metropolitana.

O primeiro estudo sobre a qualidade do ar na cidade de Porto Alegre foi feito para a análise das concentrações de zinco e cádmio na atmosfera da cidade. O estudo feito no ano de 2001 utilizava da planta *Psidium cattleianum* (Araçá) para a medição desses metais em suspensão na atmosfera. Esse foi o estudo mais amplo realizado na capital do estado do Rio Grande do Sul pois contava com medições em diversas regiões de Porto Alegre, desde a área urbana à área rural, utilizando 12 unidades de medição. Apesar dos resultados obtidos, não foi encontrada informações sobre a manutenção do programa nos anos seguintes ao fim do estudo citado no artigo.[Jr et al. 2013]

O padrão atual na mensuração da qualidade do ar da cidade de Porto Alegre envolve o uso da rede de sensores instalada, todavia não é possível captar com precisão a situação real em diferentes pontos da capital pois eles estão em áreas escolhidas pelo alto tráfego ou de veículos automotores ou próximas a empreendimentos com grande potencial poluidor[Xavier 2015], ou encontram-se inoperantes. A região rural da cidade bem como bairros densamente povoados mais afastados da região central não contam com medidores da qualidade do ar, sendo assim, os dados medidos na região central tendem a ser generalizados para o restante da cidade. A secretaria municipal do meio ambiente tem dificuldade, devido aos altos custos, de manter operantes todos os 3 sensores que estão sob sua responsabilidade. Essa situação gera um déficit de informação que poderia ser utilizada em áreas como engenharia de tráfego, saúde pública e planejamento urbano.

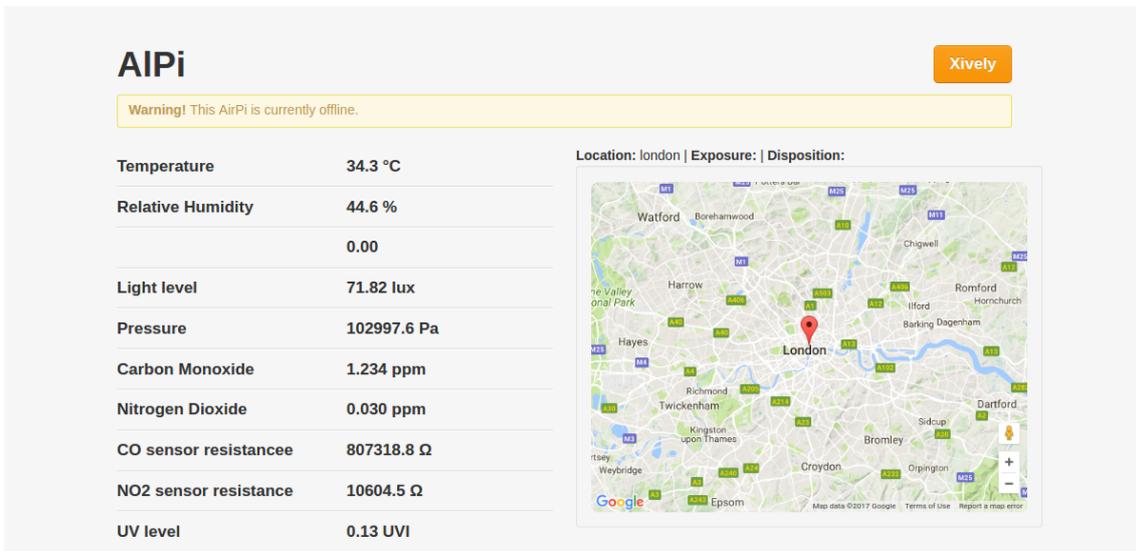
Porto Alegre apresenta um grande potencial para a coleta de dados, uma vez que tem todo seu território coberto por redes de transmissão de dados e não apresenta grandes desníveis de terreno que poderiam ocasionar áreas de sombra. Todavia não há uma rede integrada a um serviço que disponibilize os dados coletados pelas estações da FEPAM e SMAM para o acesso da comunidade. A cidade de Porto Alegre foi uma das primeiras cidades a disponibilizar APIs ou Dados para o desenvolvimento de aplicativos - através do site Datapoa.com.br - mas ficaram fora desses dados publicados ou disponibilizados os dados ambientais da cidade, sendo assim, não se sabe a situação em termos de poluição da cidade. Existe uma unidade de um projeto estrangeiro chamado Air Quality Egg localizado em Porto Alegre, e essa é a única unidade de monitoramento de dados abertos localizados na cidade.

## **4. Estado da Arte**

Atualmente existem dois projetos ativos, no monitoramento da qualidade do ar. São eles o *AirPi* ( figura 1) e o *Air Quality Egg* (figura 2).

### **4.1. AirPi**

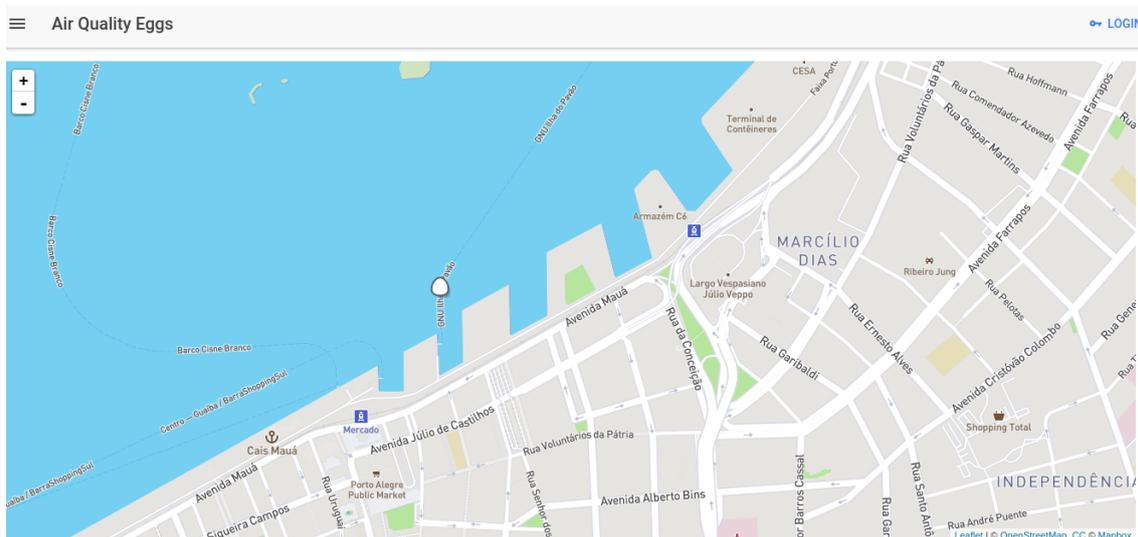
Projeto aberto baseado na plataforma proprietária *Raspberry Pi*. O projeto faz a obtenção e publicação de dados de poluentes atmosféricos, temperatura ambiente e ruído. Apesar o projeto ser bem documentado, a documentação não é atualizada e não foram acrescentadas informações que possibilitem o desenvolvimento do sistema com novos sensores de poluição atmosférica, uma vez que os sensores constantes na documentação se encontram fora de linha há aproximadamente 1 ano. Além da baixa adesão ao projeto e da documentação defasada, um dos problemas mais relevantes desse sistema é o fato do *Raspberry Pi* ter um valor bastante elevado no Brasil, o que torna ele uma plataforma muito cara se comparada ao valor acessível do Arduino. O consumo de energia do *Rasp-*



**Figure 1. Tela do sistema Airpi**

*berry Pi* é elevado - cerca de 250 reais no dia 22 de junho de 2017 - pois apresenta capacidade de processamento, armazenamento e memória muito elevados se comparado ao Arduino Uno e esses recursos não são necessários na arquitetura cliente-servidor adotada pelo sistema APC.

#### 4.2. Air Quality Egg



**Figure 2. Tela do sistema Air Quality Egg**

O projeto *Air Quality Egg* é o melhor documentado, mantido e atualizado dos projetos existentes, todavia tem um valor proibitivo para os propósitos do projeto - cerca de 5 vezes o valor do projeto apresentado pelos autores. O projeto tem varias plataformas disponiveis para diversos gases, mas essas plataformas não são extensiveis ou reutilizaveis. O que torna o Air Quality Egg pouco competitivo frente às outras soluções é o fato de que cada plataforma tem o valor de 280 dolares a ser acrescido de imposto e de

**Table 1. Comparativo de Soluções**

	AirPi	Air Quality EGG	APC
Gases	CO e NO2	CO2	CO2 e VOCs
Concentração	1-1000(CO) e 10-1000(NO2)	0-10000	400-1600(CO2) e 1-1000(VOCs)
Preço aproximado no Brasil	R\$ 490,00	R\$ 1697,00	R\$ 380,00
Descontinuado	Sim	Não	Não

frete o que transforma o valor em 1600 reais, aproximadamente. Outro problema apresentado é que pelo projeto ser fechado, não foi possibilitada a atualização da primeira versão do produto o que somado à desativação de um sistema utilizado pela primeira versão do *Air Quality Egg* tornou-a inutilizável. A tabela 1 apresenta um comparativo das soluções apresentadas e da solução proposta APC.

O Air Quality Egg, apesar de ser baseado em tecnologias abertas, é um projeto fechado o que dificulta estender seu funcionamento e o valor dos componentes. O *AirPy*, apesar de ser aberto e bem documentado, tem uma comunidade muito restrita para um projeto aberto, o que ocasiona uma dificuldade na obtenção de informações e na resolução de problemas que a plataforma pode apresentar além de dificilmente poder ser replicado pois os dois sensores de poluentes atmosféricos utilizados por ele foram descontinuados.

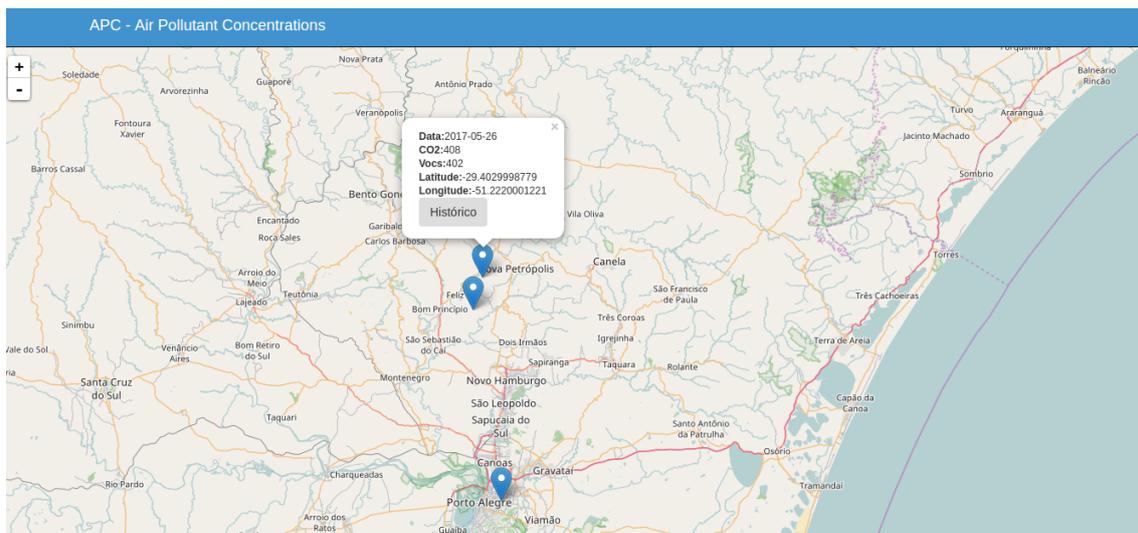
## 5. Sistema APC

O sistema APC (*Air pollutant concentrations*) desenvolvido nesse trabalho é uma sequência do projeto anteriormente desenvolvido pela ex-aluna do IFRS Elidiane Marisa Rodrigues Zayaeskoski sob orientação dos professores André Peres (Informática) e Telmo Ojeda (Meio Ambiente). O trabalho consistia em um sistema desenvolvido no arduino com os sensores MQ para a detecção e mensuração de gases padronizados pelo CONAMA. O sistema APC pretende aprimorar o sistema antecessor em velocidade e precisão na obtenção dos resultados, bem como servir como uma plataforma de acesso à dados atmosféricos aberta e extensível além de ter fácil manutenção.

O sistema se baseia no uso de nodos monitores contendo sensores de gases conectados a um microcontrolador Arduino conectado à internet capaz de enviar dados sobre a concentração destes gases no ambiente. Um sistema web publica estes dados em um mapa. A tela de disponibilização dos dados do sistema é apresentada na figura 3.

### 5.1. Arduino

Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica de Hardware Livre - projeto disponível integralmente para replicação e modificação - e de placa única - projeto onde todos os componentes necessários para o seu funcionamento estão em uma única placa. O Arduino foi desenvolvido para com o propósito de ser acessível, flexível e fácil de usar e tendo necessariamente um valor mais baixo que plataformas de prototipagem mais robustas. A arduino usa uma linguagem de programação baseada em C e C++ que permite a leitura e envio de dados através de portas digitais ou analógicas que as placas contém. A linha de dispositivos arduino é composta por diversas placas com as mais diversas finali-



**Figure 3. Tela do sistema APC**

dades: desde placas para *Wearable Devices* - dispositivos inteligentes para serem usados junto à roupa até placas focadas em objetos para Internet das coisas. [Arduino 2016]

A plataforma Arduino escolhida para o projeto foi o Arduino Uno por equilibrar o custo baixo à capacidade de processamento necessária para a operação do *shield ethernet W5100*. O Arduino UNO conta com um microcontrolador AtMega328P com clock de 16mhz, 32kb de memória *flash* - para armazenamento do sistema - e 2kb de memória *SRAM* - para armazenamento de variáveis em tempo de execução[arduino.cc ].

## 5.2. Sensores compatíveis com o projeto

Os sensores compatíveis e que se adequam ao propósito do projeto (com um valor acessível) são os sensores MICS e MQ. Ficam excluídos assim os sensores mais caros - existem sensores infravermelho que custam cerca de 350 dólares. Também foram excluídas as placas para integração com o arduino e demais equipamentos que possuam elevados custos de importação.

O sensor da família MQ que mais se aproxima do propósito de medir o dióxido de carbono( CO<sub>2</sub>) é o MQ-135[Olimex ]. O sensor MICS voltado para a medição de CO<sub>2</sub> é o MiCS-VZ-89TE[Sensortech ].

Para que se possa traçar um comparativo entre vantagens e desvantagens dos sensores, criou-se uma tabela comparativa que considera: custo; tempo necessário para pré-aquecimento antes da obtenção de dados; tipo de dado (analógico ou digital); calibração de fábrica; intervalo de variação de detecção; e gases. Estes dados são apresentados na tabela 2 e os sensores na figura 4.

Os sensores MQ-135 necessitam de um medidor pré-calibrado para referência e verificação dos cálculos do valor de saída do sensor devido a falta de documentação quanto à interferência de umidade e temperatura na capacidade de medição do sensor MQ-135[Olimex ].

O sensor escolhido para o desenvolvimento do trabalho é o MICS-VZ-89TE um duplo sensor integrado que permite medir concentrações de Dióxido de Carbono e Com-

**Table 2. Comparativo entre Sensores**

	MQ-135	MICS-VZ-89TE
Valor	R\$ 20,00 (Brasil)	R\$ 240,00 (Importação)
Tempo pré-aquecimento	12 horas	15 minutos
Sinal	Analógico	Digital via I2C ( <i>Inter-Integrated Circuit</i> )
variação de detecção	10-2000 aprox. 1,85 ppm por bit	400-2000 aprox. de 1,5 ppm por bit
Gases	CO <sub>2</sub> , CO e NH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub> e Compostos Carbonicos Volateis
intervalo ppm / bit (arduino analog In)	10.4492	1.5625

MQ-2 Fumaça

MICS-VZ-89TE



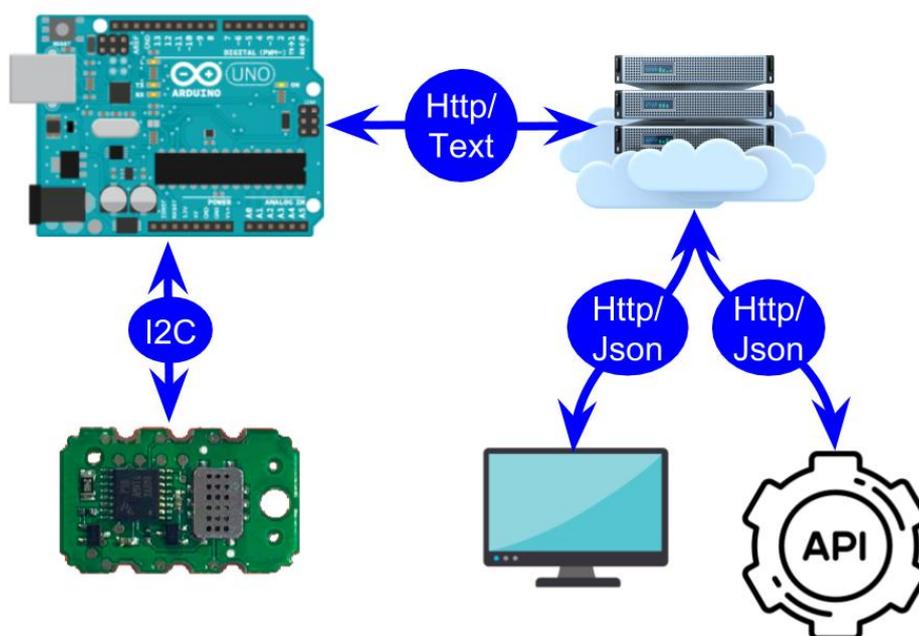
**Figure 4. Sensores MQ e MICS**

postos Carbonicos volateis (Vocs - *Volatile organic compounds*) - O gás de referência é o Isobutileno para Compostos Carbônicos Voláteis ( Vocs)[Sensortech ]. O MICS-VZ-89TE conta com uma forma serializada de transmissão de dados conhecida como I2C (*Inter-Integrated Circuit* - Entre Circuitos Integrados) o que permite que o dado seja enviado já parcialmente processado e que não seja necessária a calibragem do sensor, tornando o processo mais rápido e barato, uma vez que não se faz necessário um sensor de referência. Outras vantagens são o fato do processo de preaquecimento durar 15 minutos e a comunicação por barramento possibilitar que outros sensores sejam conectados ao arduino em quantidade acima da quantidade de portas analógicas disponíveis - 6 no Arduino UNO [arduino.cc ].

### 5.3. Sistema Web

O sistema APC é apresentado na figura 5. O sensor utilizado para medição dos dados atmosféricos será o MICS-VZ-89TE para medir o dióxido de carbono. O sensor foi

escolhido pela velocidade em que ele atinge a temperatura ideal para operação e pela alta confiabilidade dos dados por ele apresentada. O ozônio foi escolhido pois existem medições da concentração do gás feitas na cidade de Porto Alegre e elas ainda podem auxiliar na calibragem dos sensores bem como auxiliar na descoberta de dados. Da posse dos dados, o Arduino enviará para um sistema hospedado em um servidor baseado uma distribuição Ubuntu Server contendo o Apache, uma versão atualizada do PHP5 e um sistema gerenciador de banco de dados MariaDB. Os dados serão recebidos através de uma requisição GET e lidos por uma aplicação desenvolvida na linguagem PHP em sua versão 7.



**Figure 5. Sistema APC**

O modelo do Arduino utilizado foi o Arduino UNO - Revisão 3, com um *Shield Ethernet* modelo W5100. A alimentação do protótipo foi feita usando uma porta USB (*Universal Serial Bus*) 2.0 de um *desktop*. O Arduino Uno apresenta um regulador de tensão interno e é alimentado por uma tensão de 5 volts. O sensor utiliza a alimentação de energia com tensão de 3,3 volts, compatível com a saída de 3,3 volts fornecida pelo Arduino na porta de alimentação de 3,3 volts.

Para o armazenamento de dados foi utilizado o sistema gerenciador de banco de dados (SGBD) MariaDB devido a qualidade e quantidade de documentação e de frameworks. O MariaDB foi escolhido pela vasta documentação disponível e à grande adesão da comunidade PHP a ele. MariaDB é um fork - ramificação - do código original MySQL, opera de forma plenamente compatível com o MySQL, mas tem o código aberto e uma licença mais flexível que o MySQL, sendo inclusive usado nos projetos da Wikimedia.[mariadb.org a] O desenvolvimento do MariaDB é orientado pelo padrão do MySQL, sendo assim, não há necessidade de adaptação de uma base de dados do MySQL para o

funcionamento no MariaDB. O Maria DB oferece vantagens sobre o MySQL devido a velocidade de recuperação de dados implementada pela engine Aria que visa a correção de problemas de lentidão apresentados na InnoDB relacionados a queries muito complexas e que buscam conjuntos muito grandes de dados[mariadb.org b]. O MariaDb tem oferecido um sistema de updates de segurança bem transparente e frequente, além de uma nova engine de *cluster* chamada Galera, que torna a escalabilidade do sistema mais prática e eficiente frente a outras soluções de sgbd baseadas no MySQL[mariadb.org c].

A interface com o usuário é feita usando o *Framework Bootstrap* do Twitter[getbootstrap.com ]. O Bootstrap é um *framework* para *front-end* desenvolvido no Twitter para ser um padrão consistente no desenvolvimento dentro do projeto homônimo da empresa, após ser liberado o código, demonstrou grande adesão da comunidade de desenvolvedores pela facilidade de utilização, boa documentação e facilidade de extensão das funcionalidades. Apresenta como característica básica e diferencial a responsividade. O uso do *framework front-end* faz-se necessário pois implementa um código leve, consistente e testado em diversos navegadores. Atualmente se torna muito difícil validar o comportamento de páginas nos mais diversos navegadores, devido ao uso de motores de renderização distintos e às diversas formas como os motores interpretam HTML, Javascript e CSS (Class Style Sheet - Folha de estilos). O JQuery facilita o uso de requisições ajax através de métodos próprios que reimplementam os métodos de requisição do javascript de modo a torna-los mais acessíveis.

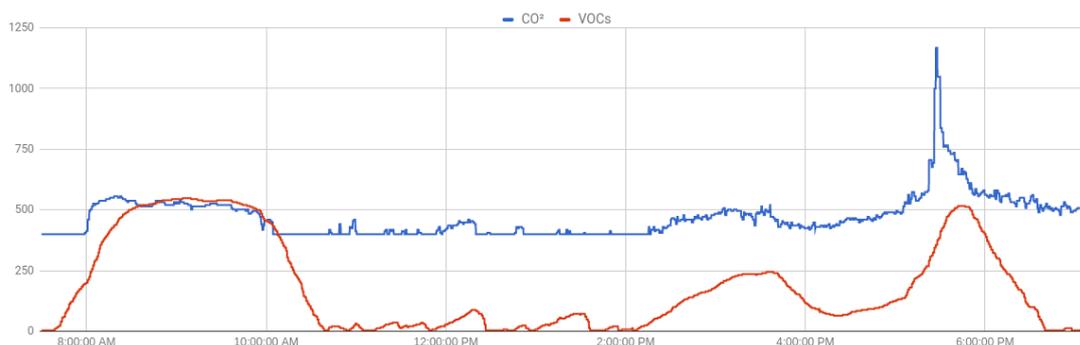
Para as funções de mapeamento é utilizado um projeto de api de mapas abertos chamado *Open Street Maps (OSM)*[openstreetmap.org ]. O projeto foi escolhido como uma alternativa aberta, gratuita, atualizada e consistente ao google maps e ao bing maps pois o sistema desenvolvido se adequa à política de uso do OSM e os referencia como provedor de mapas. As marcações no mapa são feitas usando a biblioteca javascript open source chamada Leaflet[leafletjs.com ]. Leaflet é uma biblioteca javascript desenvolvida para criar camadas sobre mapas, essas camadas podem conter informações como textos, vídeos ou outros elementos suportados pela biblioteca e que possam atrelar informação ao mapa. A biblioteca se torna particularmente interessante porque suporta uma variedade de personalizações e conta com uma grande comunidade de usuários criadores de variações dela, como uma que opera utilizando o AngularJs. No sistema são utilizados apenas um modelo que permite ao usuário clicar sobre um sensor no mapa e ter informações relativas aos dados captados mais recentes.

A integração de mapas e dados é feito pelo padrão JSON (*Javascript Object Notation*). A notação Json foi desenvolvida a partir da linguagem de programação Javascript e tem por característica que a destaca frente ao XML a pouca verbosidade e a baixa utilização de marcações com fim puramente estrutural. O Json demonstra ser uma boa escolha para transmissão dos dados devido à baixa complexidade dos dados enviados pelo servidor e pelo pouco uso de recurso de banda de internet[json.org ]. O baixo uso de banda de internet foi um dos pilares no desenvolvimento do sistema, uma vez que nem todos os habitantes da cidade contam com conexões de alta velocidade.

O sistema permite ao usuário visualizar os dados de dióxido de carbono e compostos carbonicos volateis por localidade e data de registro da análise. O registro mostrado na interface inicial é o ultimo recebido pelo servidor do sistema e apresenta a data da amostra, bem como as concentrações de poluentes enviadas pelo nodo sensor. Também é

disponibilizado para o usuário um histórico de dados de cada sensor utilizando um gráfico de linhas cujo eixo 'y' - vertical - é a concentração do poluente e o eixo 'x' - horizontal - é o horário da amostra. É possível a requisição dos dados através do uso de requisições HTTP (GET e POST) fazendo o uso do formato JSON para envio das informações, possibilitando que outros sistemas façam uso das informações consolidadas no sistema APC.

## 6. Cenário de testes e Resultados Obtidos



**Figure 6. Monitoramento**

O protótipo desenvolvido foi testado no interior de um apartamento nos andares baixos a aproximadamente 27 metros acima do nível do mar, aproximadamente 1 metro de uma janela - como visto na figura 7, e deixado ligado pelo período de 12 horas. O bairro Boa Vista se localiza na Zona Norte da cidade de Porto Alegre, é um bairro basicamente residencial apesar de contar com alguns pontos de comércio. Próximo ao ponto de coleta de dados fica localizada uma grande área verde do clube de golf *Country Club* - aproximadamente 50 hectares. O bairro conta com fluxo intenso de carros nos horários das 7:00 às 9:00 e das 17:00 às 19:00 aproximadamente, apenas na rua Anita Garibaldi e na Avenida Nilo Peçanha. A figura 6 apresenta os resultados obtidos pelo sistema no cenário descrito.

Após os testes realizados com o sensor e o sistema web ficaram constatadas a aptidão do sensor ao objetivo proposto pelo trabalho bem como a eficiência do sistema web em atualizar e prover informações. Os testes foram realizados expondo o sensor a um ambiente com uma variação pontual e controlada de dióxido de carbono e compostos carbônicos voláteis - álcool - (Como proposto para teste do Sensor na documentação do fabricante), bem como foi testada a estabilidade por longos períodos de medição.

O sensor se mostrou sensível à variações pequenas - menores de 120 ppm entre medições com intervalo de 3 segundos - de dióxido de carbono ou compostos carbônicos voláteis sem que isso causasse interferências duradouras nos resultados dos sensores. Todavia ao expor o sensor à grandes variações - maiores de 120 ppm entre medições com intervalo de 3 segundos - o sensor apresentou o efeito memória, como exposto nos manuais do fabricante, que pode causar uma queda na precisão das medições feitas em sequência. Apesar do efeito memória presente após grandes variações na concentração de poluentes o sensor volta ao equilíbrio em intervalos de até 40 minutos. O sensor demonstrou uma pequena variação no valor de dióxido de carbono quando exposto à valores muito próximos ao limite máximo de detecção de VOCs - esse valor foi detectado em um



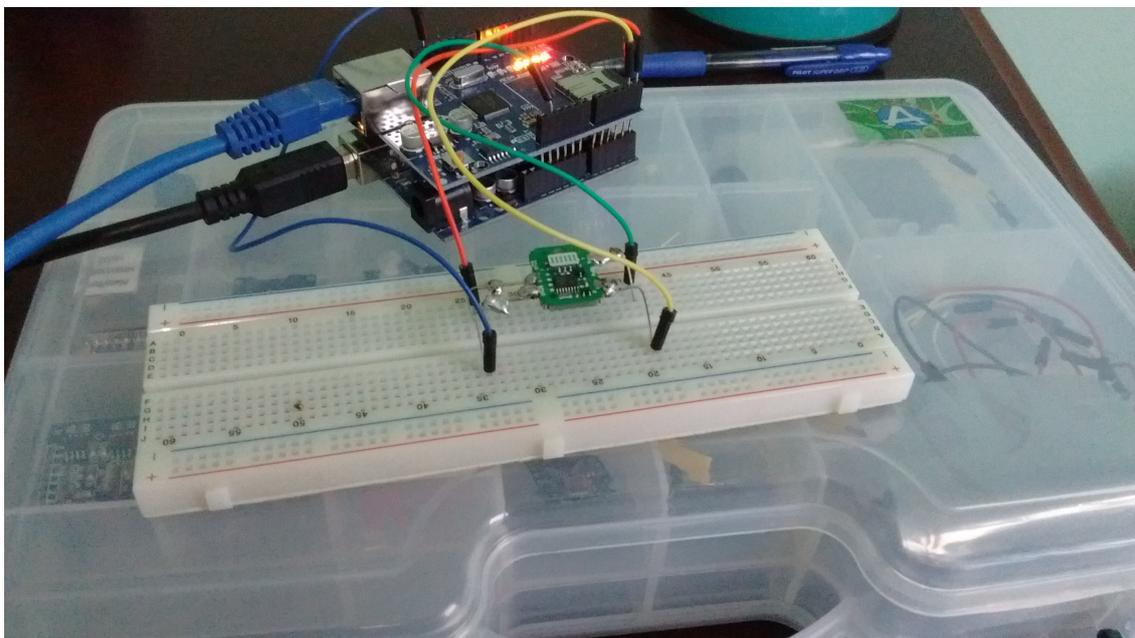
**Figure 7. Posicionamento do módulo medidor**

evento envolvendo a partida de um veículo que faz uso de Gás Natural Veicular. A análise feita durante o período compreendido entre às sete horas trinta minutos e as dezenove horas e trinta minutos do dia 21 de Junho de 2017 demonstrou o aumento das concentrações de gases poluentes durante os períodos de grande movimento na Rua Anita Garibaldi - entre oito horas e dez horas durante a manhã, e dezessete e dezenove horas durante a tarde - o que demonstra a capacidade do sensor em detectar variações de poluentes em ambiente urbano.

A plataforma Arduino Uno - como mostrada( integrada ao sensor e ao shield w5100) na figura 8 - demonstrou ser uma escolha plenamente satisfatória para o propósito do projeto, uma vez que demonstrou ser bastante estável em prover alimentação para o sensor, fazer a comunicação entre sensor e Arduino e o envio para o servidor web através de uma conexão ethernet. Foi necessária a adaptação do código para a limitada capacidade de processamento do Atmel ATmega328P sendo utilizados alguns intervalos de tempo para inicialização do *Shield Ethernet W5100* e para a comunicação com o sensor através do protocolo I2C utilizando a biblioteca Wire para plataforma Arduino. Um fator que não foi um problema, mas que pode ser um impedimento para a extensão das funcionalidades do sistema ao fazer uso do modelo de Arduino Uno é a falta de mais capacidade da memória não volátil, que pode ser um impedimento para a inclusão de funcionalidades como geolocalização e armazenamento local de dados através de uma memória flash.

A decisão de utilizar php unicamente para processamento de requisições http demonstrou ser bastante performática, uma vez que em momento algum o sistema web apresentou lentidão na resposta das requisições, lentidões estas que poderiam ser um problema caso a pagina fosse preprocessada. O desenvolvimento de páginas utilizando HTML e Javascript sem o uso de preprocessamento do H.T.M.L. (*HyperText Markup Language*) foi escolhido visando o baixo uso de processador e memoria do servidor, possibilitando assim o melhor uso de recursos computacionais por processos do sistema de banco de

dados.



**Figure 8. Integração do Arduino Uno com sensor e shield W5100**

## **7. Considerações Finais**

A grande dispersão de poluentes causada pelo uso de combustíveis não renováveis ou pelo uso de produtos químicos em grandes plantas industriais causa um conhecido problema em grandes cidades, a poluição atmosférica. O sistema comprova que o cidadão residente em grandes centros urbanos acaba por ser exposto a níveis preocupantes de gases poluentes como o dióxido de carbono e que é possível implementar soluções de baixo custo que visem a publicação de informações referentes à poluição atmosférica sem que isso implique em grandes gastos públicos e sendo essa informação, acessível ao público leigo.

Espera-se que o sistema possibilite a sociedade uma maior consciência sobre os riscos à saúde causados pela contaminação atmosférica. Também é uma das motivações do projeto fornecer dados atualizados e acessíveis sobre a qualidade do ar de Porto Alegre em pontos onde não existe infraestrutura de medição pública ou privada à um custo baixo que torne a adesão ao projeto atraente.

## **References**

- Arduino (2016). Introduction to arduino. [www.arduino.cc/en/Guide/Introduction](http://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction).
- arduino.cc. Tech specs. <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>.
- CONAMA (1990). Resolução 003/1990.
- FEPAM (2015). Boletim da qualidade do ar. [http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/boletim\\_qualidade\\_ar.asp#](http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/boletim_qualidade_ar.asp#). Accessed: 2015-11-15.

getbootstrap.com. History. <http://getbootstrap.com/about/>.

Jr, A. D., Rocha, D., Fontoura, F., Pinheiro, G., and Maciel, J. (2013). *Projetos de Monitoramento da Qualidade do ar em Porto Alegre*. Gráfica Ideograf.

json.org. Ecma-404 the json data interchange standard. <http://www.json.org/>.

leafletjs.com. Overview. <http://leafletjs.com/index.html>.

mariadb.org. About mariadb. <https://mariadb.org/about/>.

mariadb.org. Aria faq. <https://mariadb.com/kb/en/mariadb/aria-faq/>.

mariadb.org. What is mariadb galera cluster? <https://mariadb.com/kb/en/mariadb/what-is-mariadb-galera-cluster/>.

Olimex. Technical data mq-135 gas sensor. <https://www.olimex.com/Products/Components/Sensors/SNS-MQ135/resources/SNS-MQ135.pdf>.

openstreetmap.org. About. <https://www.openstreetmap.org/about>.

Rohde, R. A. and Muller, R. A. (2015). Air pollution in china: Mapping of concentrations and sources. <http://berkeleyearth.org/wp-content/uploads/2015/08/China-Air-Quality-Paper-July-2015.pdf>.

Sensortech, S. Mics-vz-89te data sheet. <http://sgx.cdistore.com/ProductDetail/MICSVZ89TE-SGX-Sensortech-Limited/598202/>. Accessed: 2017-06-05.

SMAM (2015). Controle da qualidade do ar em porto alegre. [http://www2.portoalegre.rs.gov.br/smam/default.php?p\\_secao=130](http://www2.portoalegre.rs.gov.br/smam/default.php?p_secao=130). Accessed: 2015-11-14.

Vallero, D. (2008). *Fundamentals of Air Pollution*. Academic Press, 4th edition.

Xavier, M. (2015). Apenas duas estações de controle de qualidade de ar funcionam em porto alegre. <http://www.correiodopovo.com.br/Noticias/550594/Apenas-duas-estacoes-de-controle-de-qualidade-de-ar-\funcionam-em-Porto-Alegre>. Accessed: 2016-06-20.