

**Desenvolvimento e aplicação de uma estação de qualidade do ar de baixo custo para monitorar a concentração de material particulado**

**Development and application of a low-cost air quality station for monitoring particulate matter concentration**

DOI:10.34117/bjdv6n12-573

Recebimento dos originais: 22/11/2020

Aceitação para publicação: 22/12/2020

**Giovana Deponte Galetti**

Graduada em Meteorologia

Instituição: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Endereço: Rodovia Presidente Dutra, km 40, Cachoeira Paulista - SP, 12630-970

E-mail: giovanadgaletti@gmail.com

**Otávio Medeiros Feitosa**

Graduando em Meteorologia

Instituição: Universidade Federal de Pelotas

Endereço: Rua Gomes Carneiro, 01 - Balsa, Pelotas - RS, 96010-610

E-mail: otaviomf123@gmail.com

**João Carlos Torres Vianna**

Doutor em Ciências

Instituição: Universidade Federal de Pelotas

Endereço: Rua Gomes Carneiro, 01 - Balsa, Pelotas - RS, 96010-610

E-mail: jcviana@ufpel.edu.br

**Marcelo Felix Alonso**

Doutor em Meteorologia

Instituição: Universidade Federal de Pelotas

Endereço: Cap. Antoninho Soares 63 - Umuharama

E-mail: marcelo.alonso@ufpel.edu.br

**Jonas da Costa Carvalho**

Doutor em Meteorologia

Instituição: Universidade Federal de Pelotas

Endereço: Rua Gomes Carneiro, 01 - Balsa, Pelotas - RS, 96010-610

E-mail: jonas.carvalho@ufpel.edu.br

**RESUMO**

Impactos negativos tanto para a saúde quanto para o meio ambiente tornam necessário o monitoramento da qualidade do ar em uma região. Nesse sentido, sensores de baixo custo vêm sendo usados de diversas formas com o objetivo de obter dados da qualidade do ar. Nesse artigo são apresentadas a construção e a aplicação de uma estação de qualidade do ar composta por um sensor de baixo custo capaz de medir a concentração de material particulado. Os resultados apresentados revelam que a estação de baixo custo representa satisfatoriamente o comportamento geral das concentrações monitoradas por uma estação oficial.

**Palavras-chave:** monitoramento da qualidade do ar, concentração de material particulado, estação de baixo custo

## **ABSTRACT**

Negative impacts on both health and environment make it necessary the air quality monitoring in a region. In this sense, low-cost sensors have been used in several ways in order to obtain air quality data. In this article are presented the development and application of an air quality station that consists of a low-cost sensor capable of measuring the particulate matter concentration. The results reveal that the low cost station satisfactorily represents the general behavior of the concentrations monitored by an official station.

**Keyword:** air quality monitoring, particulate matter concentration, low-cost station.

## **1 INTRODUÇÃO**

Dentre as diversas formas de degradação ambiental, a poluição atmosférica é uma das que mais traz prejuízos à civilização, afetando a saúde humana, os ecossistemas e patrimônios históricos e culturais (DE CARVALHO, 2009). Segundo o relatório divulgado pela World Health Organization (WHO, 2014), a poluição atmosférica atinge cerca de 7 milhões de vidas todos os anos, ficando em quarto lugar no fator de risco de morte em todo o mundo. Doenças como derrames, doenças respiratórias e cardiovasculares estão relacionadas à poluição do ar. Poluentes microscópicos são capazes de passar pelas defesas do corpo humano, penetrar nos sistemas circulatório e respiratório, danificando órgãos como pulmões, coração e cérebro.

Atualmente, grande parte da poluição gerada localiza-se em centros urbanos, sendo relacionada à queima de combustíveis fósseis para a geração de energia que abastece setores como o de transporte, de eletricidade e industrial. A qualidade do ar de uma região é influenciada diretamente pelos níveis da poluição atmosférica, os quais estão vinculados a um complexo sistema de fontes emissoras estacionárias (indústrias, queima de lixo, emissões naturais, entre outras) e móveis (veículos automotores, aviões, trens) (CUNHA, 2002). O levantamento das fontes poluidoras de uma região é denominado inventário de emissões, o qual tem o objetivo de identificar e quantificar os poluentes emitidos na atmosfera.

Devido aos impactos negativos tanto para a saúde quanto para o meio ambiente, é necessário que o monitoramento da qualidade do ar seja realizado de forma mais ampla, contemplando diversas áreas, a fim de obter dados para auxiliar na criação de medidas que visam reduzir riscos associados à saúde e aos impactos na natureza. A utilização de sensores de baixo custo, como aqueles que usam a tecnologia Arduino, vem sendo usados de diversas formas com objetivo de obter dados da qualidade do ar que

respiramos. Alguns estudos têm sido realizados com a utilização desses sensores em locais como ônibus, trens e carros (DEVARAKONDA, 2013) e bicicletas (LIU et al., 2015).

O objetivo deste artigo é apresentar a construção e a aplicação de uma estação de qualidade do ar composta por um sensor de baixo custo capaz para medir a concentração de material particulado (MP). A calibração e avaliação da estação são realizadas usando dados de concentração monitorados por uma estação de qualidade do ar oficial, considerando condições meteorológicas diversas que influenciam a dispersão de poluentes na região de estudo. O desenvolvimento desse tipo de estação pode permitir a aplicação de uma rede para monitorar a qualidade do ar a custo baixo em comparação com as estações oficiais de qualidade do ar.

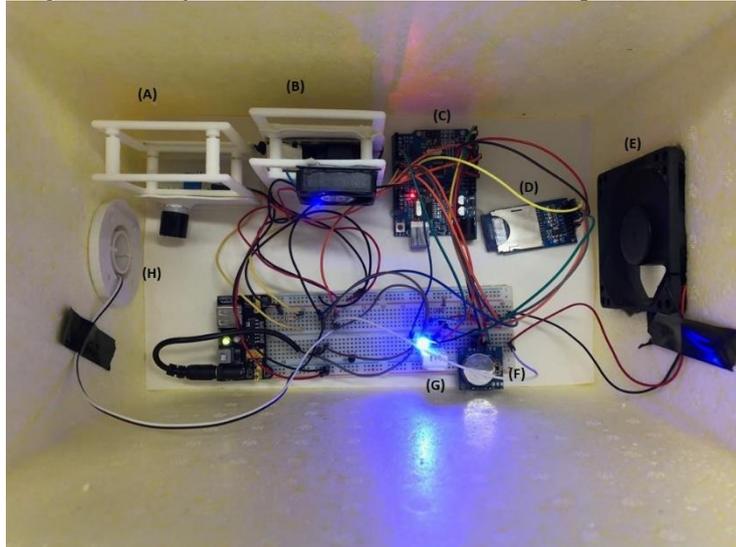
## **2 METODOLOGIA**

### **2.1 CONSTRUÇÃO DA ESTAÇÃO**

Para abrigar o sensor de baixo custo (SBC) e os outros componentes da estação de baixo custo (EBC), foi utilizada uma caixa de isopor que está representada na Figura 1. Na caixa estão instalados sensores de material particulado (MP) (Shinyei PPD42NS) (B), de ozônio (O3) (MQ-131) (A), de temperatura e umidade (DHT 22) (G) e um relógio (DS1307) (F). Em uma lateral da caixa foi instalado um tubo de plástico (H), permitindo um fluxo de ar constante dentro do abrigo, e na face oposta foi instalado um cooler (E), responsável pela exaustão de ar. Os sensores foram conectados a um Arduino (C) por meio de uma placa (protoboard), tornando possível a programação e a comunicação dos sensores com o Arduino e com um cartão de memória (D) para armazenamento dos dados. O Ambiente Integrado de Desenvolvimento (IDE) é constituído por um software que possibilitou a criação de rotinas compatíveis com a placa Arduino, permitindo a interpretação dos dados monitorados pelos sensores. A EBC construída teve um custo de aproximadamente 350 reais, ou seja, um valor muito inferior quando comparada com o valor de uma estação oficial.

A princípio, a EBC não obedeceu fielmente às especificações do fabricante do sensor de MP, tal que não há controle interno de temperatura e umidade. O sensor de MP funciona em uma faixa de temperatura de 0°C à 45°C, sendo bem amplo, e com umidade de 95% ou menos, não havendo condensação. A medida que os dados foram sendo coletados, análises e validações dos mesmos foram sendo processadas. Para identificar o bom funcionamento da EBC, foi instalado um LED para indicar se os dados estavam sendo coletados e armazenados corretamente, tornando mais fácil a identificação de eventuais problemas durante a coleta dos dados. Os dados foram automaticamente armazenados no cartão de memória com resolução temporal de 1 min..

Figure 1 - Estação de baixo custo (EBC) construída para o estudo.

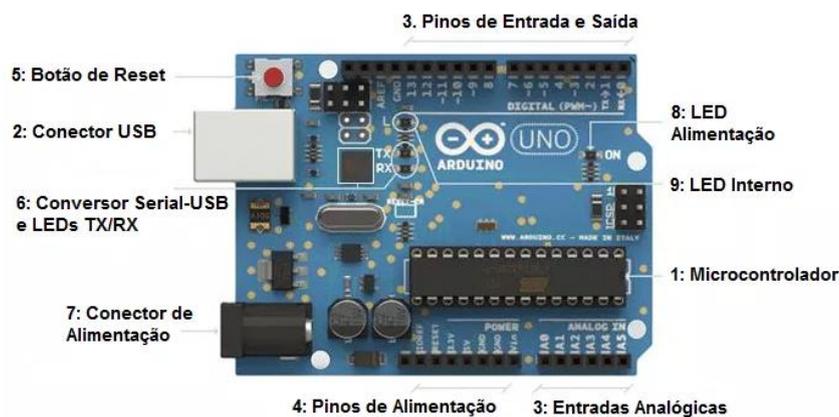


Fonte: Arquivo pessoal

## 2.2 ARDUINO E SENSOR DE BAIXO CUSTO

O Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica que permite a criação de sistemas automáticos. Ele é formado por duas componentes: a placa, utilizada para a construção dos projetos (onde os sensores são conectados) e a IDE Arduino, local onde são executadas as rotinas para que a placa execute sua função. No trabalho foi utilizado o Arduino Uno, o qual é uma das placas mais utilizadas (Figura 2).

Figure 2 - Arduino Uno utilizado no trabalho com seus respectivos componentes.



Fonte: <https://portal.vidadesilicio.com.br/o-que-e-arduino-e-como-funciona>

O sensor de material particulado (MP) Shinyei PPD42NJ, apresentado na Figura 3a, mede a concentração de poeira em suspensão. O nível da concentração de MP no ar é medido pela contagem de ocupação de pulso baixo (OPB) em uma determinada unidade de tempo, onde o tempo de OPB é proporcional à concentração de MP. A Figura 3b representa uma esquematização do interior do sensor Shinyei PPD42NJ, que é constituído por um emissor de luz (LED), por um receptor chamado

fototransistor, uma lente e um aquecedor (resistor para gerar corrente de ar dentro do sensor). Quando o ar entra no sensor, o material particulado intercepta a luz emitida pelo LED, causando a dispersão da luz. O fototransistor é responsável por captar a luz dispersa, transformando em um sinal de pulso. Esse sinal foi convertido em unidade de micrograma por metro cúbico ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) para possibilitar a interpretação dos dados em concentração volumétrica de MP. A especificação técnica do sensor e apresentadas na Tabela 1.

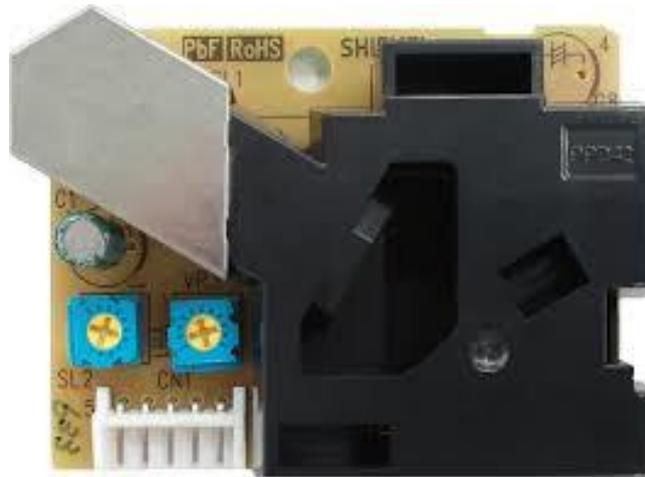
Tabela 1 - Especificações técnicas do sensor de material particulado.

Modelo	PPD42NS
Tamanho da Partícula	Aproximadamente $1 \mu\text{m}$
Faixa Detectável de Concentração	0~28.000 pcs/litro
Tensão de Alimentação	5V $\pm$ 10 % DC
Faixa de Temperatura Operacional	0 ~45°C
Faixa de Umidade Operacional	95% RH ou menos (sem condensação)
Consumo de Energia	90 mA
Tempo para Estabilização	1 minuto após ligar

Shinyei Technology

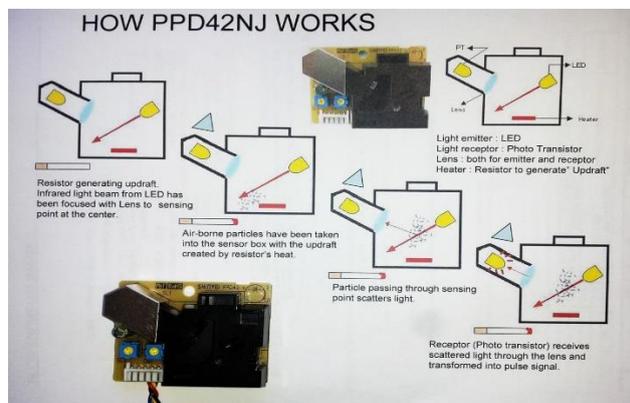
Figura 3 – a) Imagem do sensor de material particulado (Shinyei PPD42NJ) e b) Esquematização do funcionamento do sensor de material particulado

a)



Fonte: adaptado de: <https://www.seeedstudio.com/Grove-Dust-Sensor-PPD42NS.html>

b)



Fonte: <https://surlee.com/azhal-1-payload-design/>

### 2.3 CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DA EBC

A EBC foi instalada junto a uma estação oficial (EO) para medir a concentração de MP, de tal forma que ambas as estações estivessem expostas às mesmas condições de meteorologia e de concentração do poluente. A EO utilizada é um monitor de particulado BAM-1020 (Met One Instruments, Inc.), que mede a concentração de MP através do princípio da atenuação de radiação beta e registra sobre um filtro em fita (Figura 4). Esse equipamento possui calibração e validação seguindo a metodologia empregada pelo fabricante do sensor e as legislações e normas ambientais. O BAM-1020 faz parte de um conjunto de equipamentos do Laboratório de Qualidade do Ar da Faculdade de Meteorologia da UFPel e foi utilizado durante um projeto financiado pelo CNPq, com participação da UFPel e UNIFESP. Os dados coletados por ambas as estações (EBC e EO) foram convertidos para  $\text{mg}/\text{m}^3$  com o objetivo de possibilitar a comparação dos resultados.

Dois métodos estatísticos foram testados para realizar a calibração do EBC: Regressão Linear de Múltiplas Variáveis (RLMV) e Redes Neurais (RN). O método RLMV considera uma relação linear entre as variáveis dependente e as variáveis independentes, sendo calculadas as correlações entre os dados do sensor de baixo custo e do sensor oficial. No método RN, um percentual dos dados de concentração coletados pela estação oficial (86,5%) é utilizado para treinar a RN e o percentual restante (13,5%) é utilizado para obter os dados de concentração em forma de teste.

A validação da EBC foi realizada concomitantemente com a calibração da mesma. Com as estações posicionadas uma ao lado da outra e com os processos de calibração dos sensores realizados, a validação ocorreu a partir do momento em que os dados coletados pela EBC apresentaram boa correlação com os dados da EO. No momento em que a comparação entre os dados do sensor de baixo custo e os dados do sensor oficial apresentaram resultado estatisticamente condizentes, o processo de validação foi realizado.

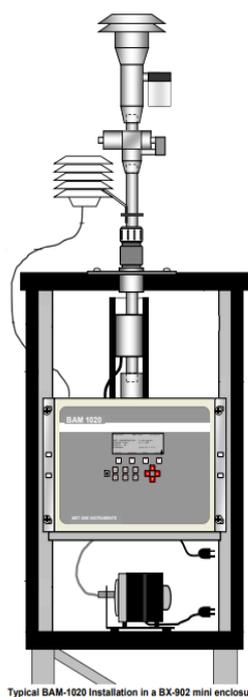
Figura 4 – a) Equipamento BAM-1020 (Met One Instruments, Inc.) e b) Representação esquemática do BAM-1020.

a)



Fonte: Arquivo pessoal

b)



Fonte: <https://metone.com/wp-content/uploads/2019/04/BAM-1020-9800-Manual-Rev-U.pdf>

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 ANÁLISE SINÓTICA NA REGIÃO

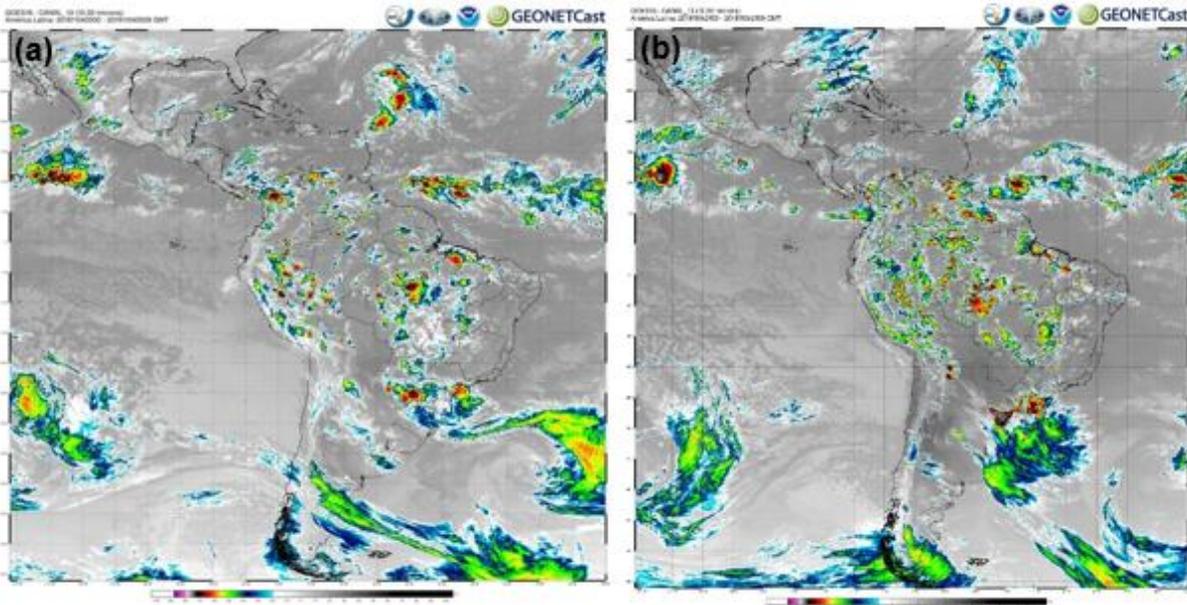
O monitoramento da concentração de MP foi realizado na cidade de Pelotas, no período de 02/11/2019 a 19/11/2019. O município está localizado ao sul do Estado do Rio Grande do Sul e na

Planície Costeira Gaúcha. As altitudes do terreno variam de aproximadamente 7 m na área urbana (áreas leste e sudeste) até 400 m na área rural (áreas oeste e noroeste). O clima em Pelotas é o subtropical úmido, com precipitação regular e temperaturas médias de 23,5 °C no mês mais quente (janeiro) e 12,2 °C no mês mais frio (julho). Os eventos meteorológicos atuantes na região sul do Brasil estão relacionados com sistemas convectivos de mesoescala (SCMs), sistemas frontais (SF) e sistemas convectivos locais (devido ao aquecimento diurno da superfície).

Visando relacionar a variabilidade da concentração de MP com os eventos meteorológicos, realiza-se uma rápida análise das condições do tempo na região de interesse para o período de coleta dos dados. O estudo das condições do tempo é importante no sentido que variáveis meteorológicas como vento e precipitação, por exemplo, são fatores importantes para a dispersão e remoção de poluentes da atmosfera. O vento é responsável pela dispersão dos poluentes atmosféricos mesmo quando não apresentam velocidades muito elevadas. Já os mecanismos de remoção de poluentes se baseiam em dois tipos: deposição seca e deposição úmida. A deposição úmida pode ser caracterizada por dois processos conhecidos como “rainout” e “washout” (AIKAWA e HIRAKI, 2009)

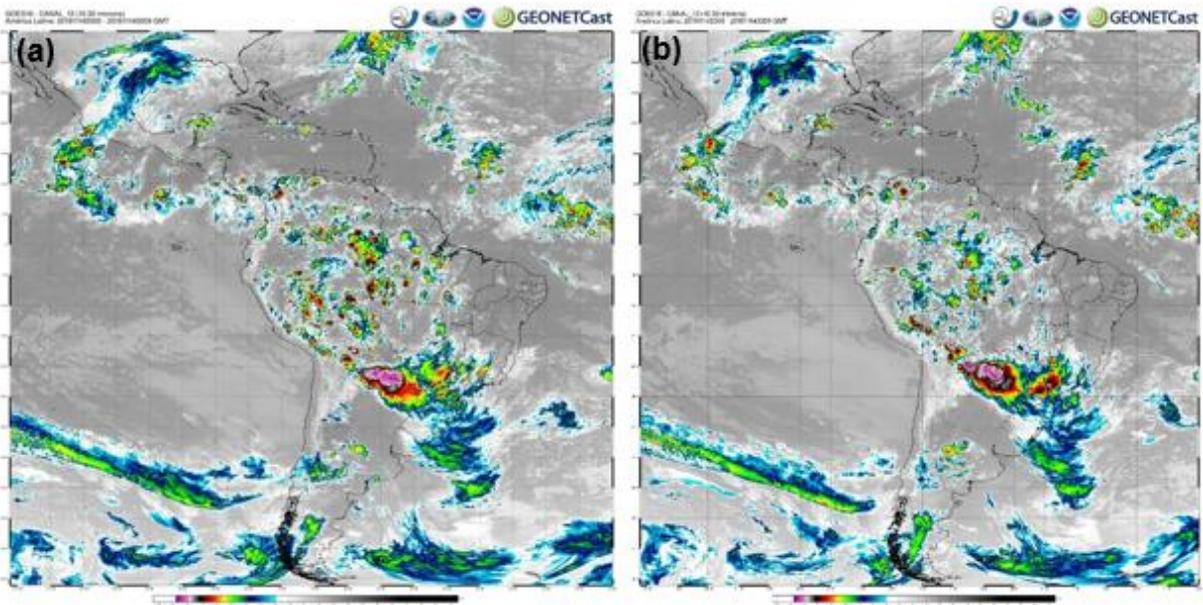
Durante o monitoramento, o Rio Grande do Sul esteve sob condições meteorológicas distintas, apresentando tanto tempo instável devido à passagem de frentes frias como tempo estável devido à atuação de anticiclones pós-frontais. Desta forma, o período de monitoramento (02/11/2019 a 19/11/2019) foi dividido em três subperíodos para a análise meteorológica. O primeiro subperíodo (02/11 a 06/11) foi marcado pela presença de sistemas frontais em superfície atuando próximo ao Rio Grande do Sul e cavados na troposfera média favorecendo a instabilidade na região. As frentes frias que se formaram e atingiram a região sul do Estado tiveram comportamento oscilatório de forma estacionária entre o Rio Grande do Sul e Santa Catarina. A frente fria favoreceu a convergência de umidade, tornando a região com condições favoráveis para a ocorrência de precipitação (Figura 5). O segundo subperíodo (07/11 a 14/11) do estudo foi marcado pelo avanço de um sistema frontal sobre o Rio Grande do Sul, causando bastante nebulosidade na área de estudo. Houve também a passagem de um sistema de alta pressão associado ao sistema frontal, porém a presença de um cavado invertido observado ao longo da semana desencadeou instabilidade na região (Figura 6). O terceiro subperíodo (15/11 a 19/11) foi marcado pela atuação de um sistema de alta pressão em superfície, resultando em pouca nebulosidade e tempo estável na área de interesse (Figura 7).

Figura 5 - (a) Imagem de satélite para o dia 03/11/2019 às 21 HL (Hora Local) e (b) Imagem de satélite para o dia 04/11/2019 às 21 HL.



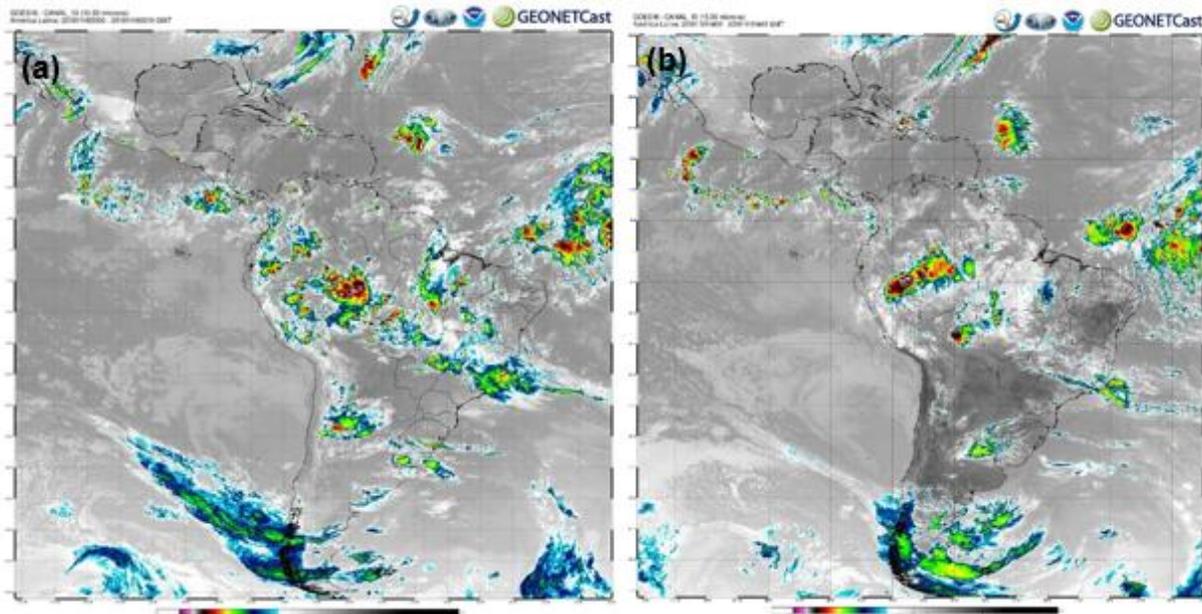
Fonte: CPTEC/INPE

Figura 6 - (a) Imagem de satélite para o dia 13/11/2019 às 21 HL (Hora Local) e (b) Imagem de satélite para o dia 14/11/2019 às 03 HL.



Fonte: CPTEC/INPE

Figura 7 - (a) Imagem de satélite para o dia 18/11/2019 às 21 HL (Hora Local) e (b) Imagem de satélite para o dia 19/11/2019 às 11 HL.



Fonte: CPTEC/INPE

### 3.2 CONCENTRAÇÃO DE MP

A Figura 8 apresenta o gráfico da concentração de MP monitorada pela estação oficial (EO) para o período de estudo (02/11/2019 a 19/11/2019). É possível notar que a estação registrou picos elevados de concentrações de MP, alcançando  $0,06 \text{ mg/m}^3$  no dia 06/11/2019,  $0,07 \text{ mg/m}^3$  no dia 08/11/2019 e  $0,065 \text{ mg/m}^3$  no dia 10/11/2019. De acordo com os dados meteorológicos coletados pela estação automática do INMET em Pelotas-RS, as baixas velocidades do vento podem explicar os picos de concentração de MP entre os dias 06/11/2019 e 10/11/2019.

Os valores mínimos de concentração de MP foram menores que  $0,01 \text{ mg/m}^3$  nos dias 04/11/2019 e 14/11/2019 e iguais a  $0,01 \text{ mg/m}^3$  no dia 17/11/2019. O dia 04/11/2019 apresentou um acumulado de chuva de 25,8 mm e uma velocidade do vento máxima de 6,2 m/s, o que pode explicar as baixas concentrações observadas. Já no dia 14/11/2019, a estação do INMET registrou um acumulado de precipitação de 15,4 mm e uma velocidade do vento máxima de 6,6 m/s, o que também explica a baixa concentração observada de MP. O dia 17/11/2019 não apresentou ocorrência de chuva e a velocidade máxima registrada do vento foi de 4,5 m/s.

A Figura 9 apresenta a série de dados de concentração de MP registrada pela estação de baixo custo (EBC), calibrada com o método de RLMV, para o período de estudo (02/11/2019 a 19/11/2019). Já a Figura 10 apresenta uma comparação entre os resultados da EBC, com calibração pelo método de RLMV, e da EO para um período reduzido (18/11 a 20/11). Pode-se perceber a diferença entre as duas séries de dados, tal que a evolução da concentração registrada pela EBC apresenta uma amplitude bem maior que a concentração registrada pela EO.

Figure 8 - Dados monitorados pela EO. Concentrações de MP em mg/m<sup>3</sup>.

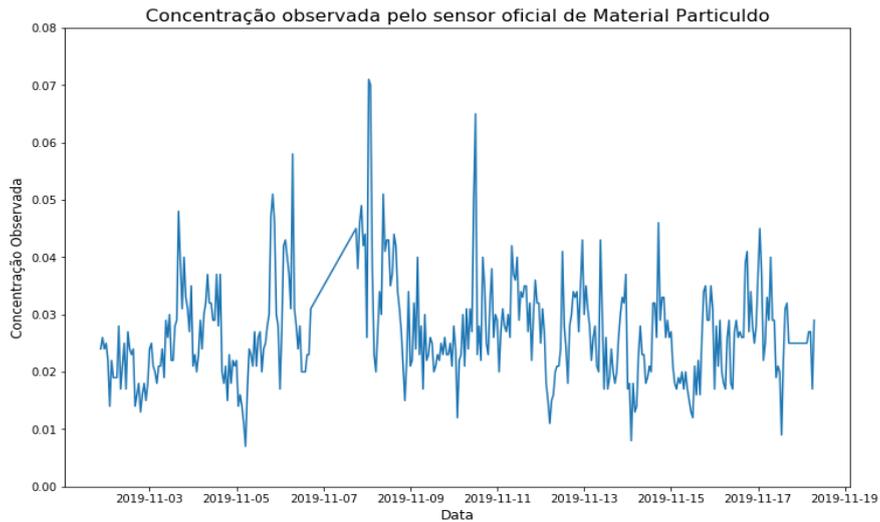


Figure 9 - Dados monitorados pela EBC calibrada com Regressão Linear de Múltiplas Variáveis (RLMV). Concentrações de MP em mg/m<sup>3</sup>.

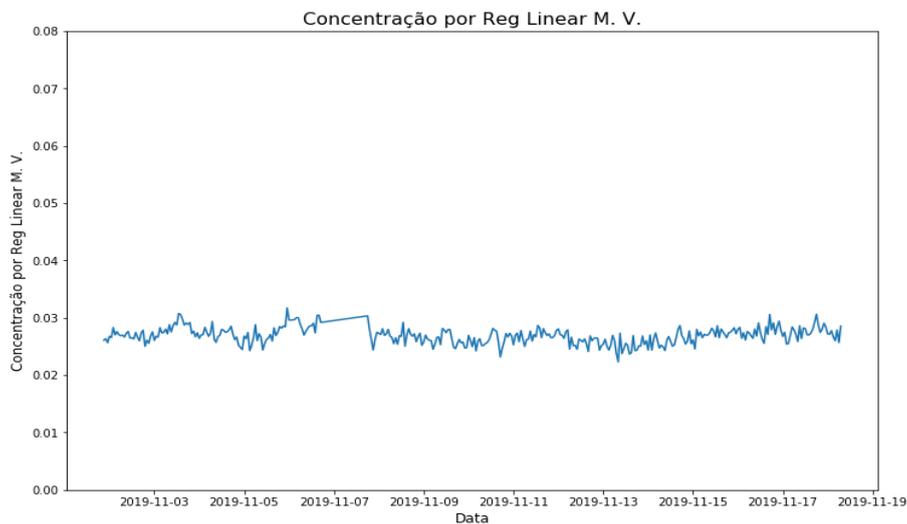
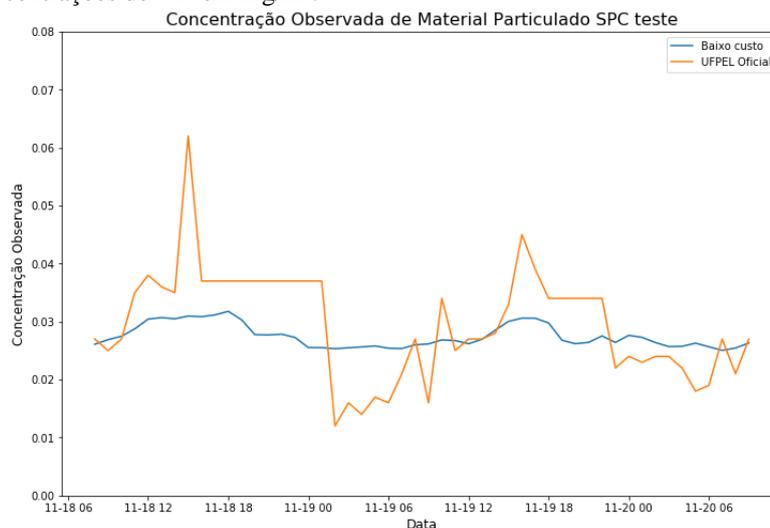


Figure 10 - Comparação entre os dados monitorados pela EO e pela EBC calibrada com Regressão Linear de Múltiplas Variáveis (RLMV). Concentrações de MP em mg/m<sup>3</sup>.



A Figura 11 mostra a série de dados de concentração de MP registrados pela EBC, com calibração pela técnica de RN. A Figura 12 reapresenta a comparação entre as estações EBC, calibrada pela técnica de RN, e EO para um período de monitoramento reduzido (18/11 a 20/11). É possível observar que, agora, os registros da EBC acompanham de forma satisfatória os registros da EO, mesmo que continue apresentando uma amplitude um pouco maior.

Figure 11 - Dados monitorados pela EBC calibrada com Redes Neurais (RN). Concentrações de MP em mg/m<sup>3</sup>.

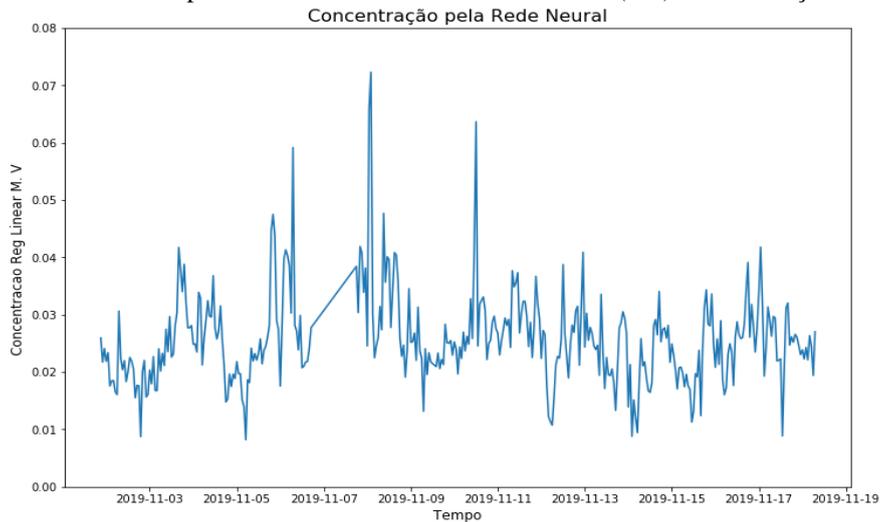
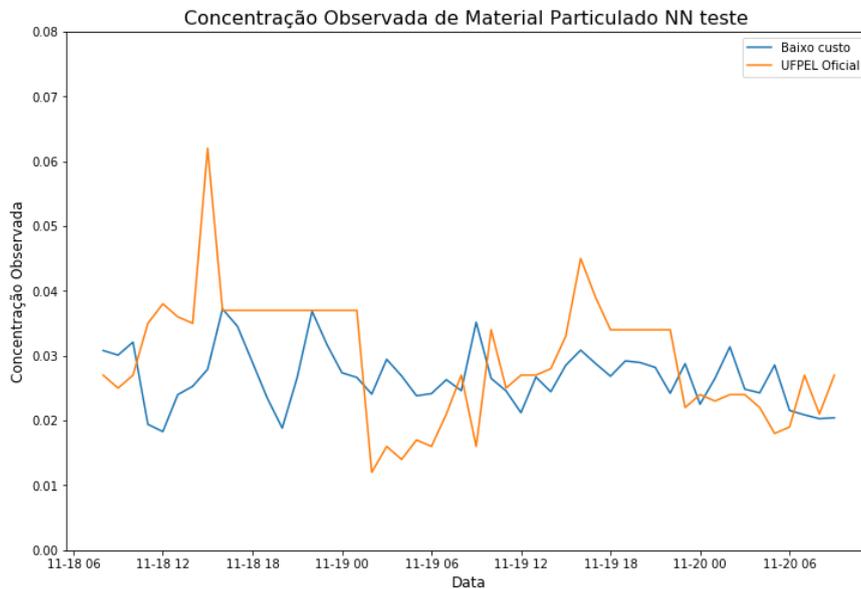


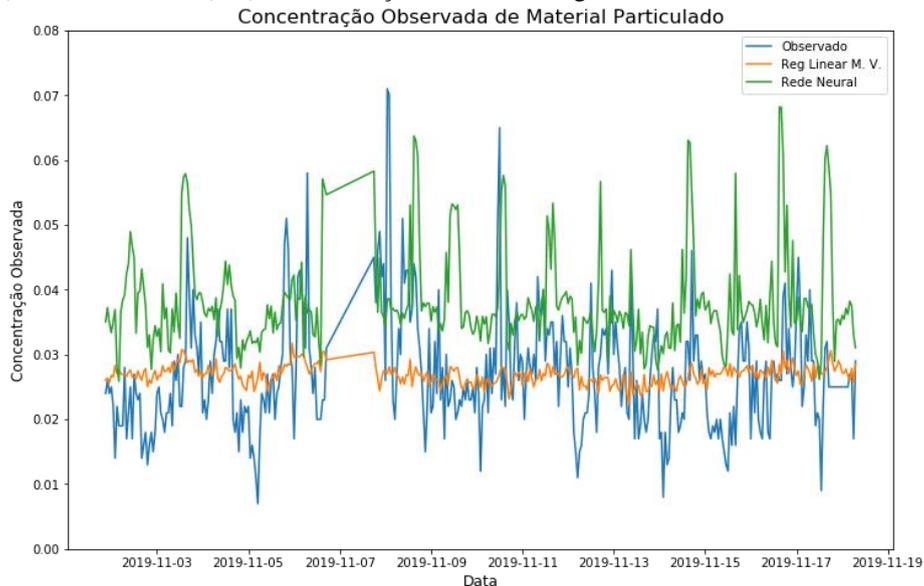
Figure 12 - Comparação entre os dados monitorados pela EO e pela EBC calibrada com Redes Neurais (RN). Concentrações de MP em mg/m<sup>3</sup>.



A Figura 13 apresenta uma comparação entre os dados de concentração obtidos pela EBC com calibração RLMV, pela EBC com calibração (RN) e pela EO. Observa-se que os dados monitorados pela EBC, calibrada com RLMV, apresentam uma evolução com pouca amplitude, oscilando entre 0,02 e 0,04 mg/m<sup>3</sup>, quando comparados com os dados registrados pela estação oficial (EO). Após a aplicação

da técnica de RN, percebe-se que os dados coletados pela EBC representam satisfatoriamente os dados da EO, descrevendo melhor os valores máximos e mínimos de concentração de MP, se comparado com os dados da EBC com o método da RLMV.

Figure 13 - Comparação entre os dados monitorados pela EO e pela EBC calibrada com Regressão Linear de Múltiplas Variáveis (RLMV) e Redes Neurais (RN). Concentrações de MP em mg/m<sup>3</sup>.



A Figura 14 apresenta o gráfico de dispersão da concentração de MP monitorada pela estação oficial (EO) e pela estação de baixo custo (EBC) calibrada com o método RLMV; a correlação obtida entre esses dois conjunto de dados é de 0,10. A Figura 15 apresenta o gráfico de dispersão da concentração de MP monitorada pela EO e pela EBC calibrada com o método RN; o coeficiente de correlação calculado entre esses dois conjuntos de dados é de 0,93. Logo, os dados de concentração monitorados pela EBC calibrado com RN geram uma correlação bem mais alta do que as concentrações monitoradas pela EBC calibrada com RLMV.

Figure 14 - Dispersão entre os dados monitorados pela EO e pela EBC calibrada com Regressão Linear de Múltiplas Variáveis (RLMV). Concentrações de MP em  $\text{mg}/\text{m}^3$ .

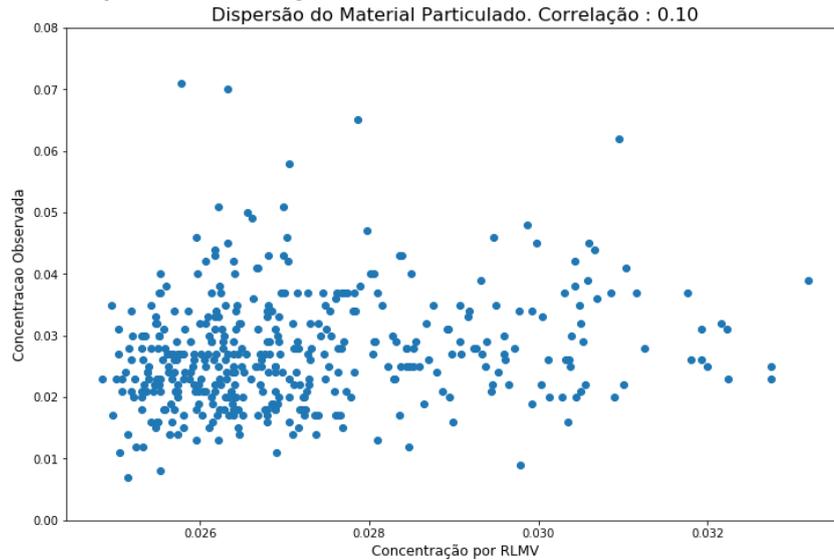
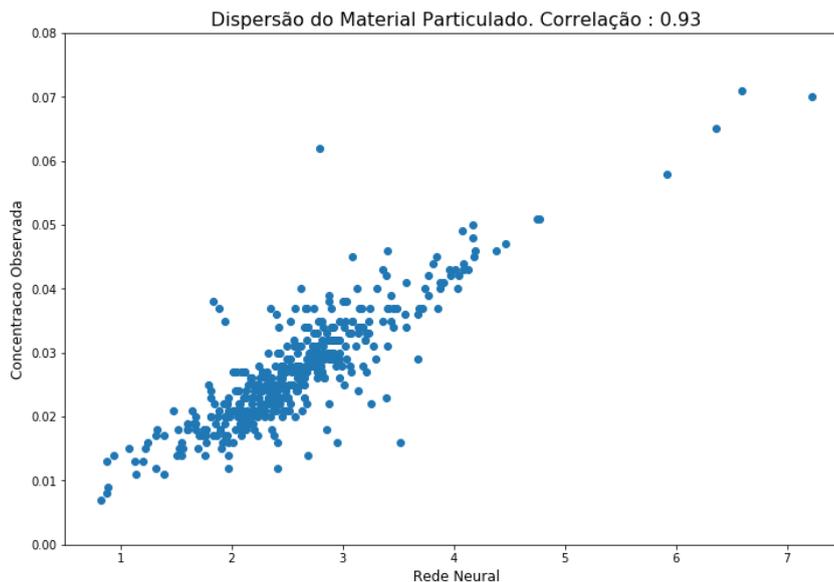


Figure 15 – Dispersão entre os dados monitorados pela EO e pela EBC calibrada com Redes Neurais (RN). Concentrações MP em  $\text{mg}/\text{m}^3$ .



#### 4 CONCLUSÕES

Este artigo apresentou a construção e aplicação de uma estação de qualidade do ar de baixo custo para monitorar a concentração de material particulado. A calibração e avaliação da estação foram realizadas através de dados monitorados por uma estação de qualidade do ar oficial, considerando condições meteorológicas diversas.

É possível concluir que as concentrações registradas pela estação de baixo custo apresentaram oscilações durante todo o período de estudo e, mesmo não tendo reproduzido as variações na mesma

amplitude, mostrou-se sensível ao comportamento da evolução das concentrações registradas pela estação oficial.

Gráficos de dispersão comparando os dados monitorados pela estação de baixo custo com os dados da estação oficial revelaram boa concordância, condicionado ao método de calibração. Os dados monitorados pelo sensor de baixo custo, calibrado com o método de Redes Neurais, apresentou coeficiente de correlação acima de 0.9 quando comparados com os dados registrados pelo sensor oficial.

Portanto, os resultados revelaram que a estação de baixo custo representou satisfatoriamente o comportamento geral das concentrações monitoradas pelo sensor oficial. O desenvolvimento desse tipo de estação pode permitir a aplicação de redes de estações qualidade do ar para monitorar as concentrações de diversos poluentes a um custo bem inferior. Mesmo assim, a aplicação dos sensores requer mais testes e investigações com relação à calibração dos mesmos no sentido de obter melhores resultados.

**REFERÊNCIAS**

AIKAWA, M., HIRAKI, T., 2009. Washout/rainout contribution in wet deposition estimated by 0.5 mm precipitation sampling/analysis. *Atmos. Environ.* 43, 4935e4939.

DE CARVALHO, Mariana Bulhões Freire. *Poluição atmosférica e Mudanças climáticas*. 2009. 39 f. Relatório PIBIC - Curso de Direito, Puc-rio, Rio de Janeiro, 2009. Disponível em:< [http://www.pucrio.br/pibic/relatorio\\_resumo2009/relatorio/dir/mariana\\_carvalho.pdf](http://www.pucrio.br/pibic/relatorio_resumo2009/relatorio/dir/mariana_carvalho.pdf)>. Acesso em 20 maio 2019

CUNHA, R. M. P. *Estudo do Transporte de Poluentes na Região do Polo Petroquímico, localizado em Triunfo-RS*. 2002. Dissertação de Mestrado Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia), Porto Alegre, 2002.

DEVARAKONDA, S; SEVUSU, P.; LIU, H.; LIU, R.; IFTODE, L.; NATH, B. Real-time air quality monitoring through mobile sensing in metropolitan areas; 2013. Proceedings of the 2nd ACM SIGKDD International Workshop on Urban Computing (UrbComp), August 2013..

LIU, X.; LI, B. JIANG, A.; QI, S.; XIANG, C.; XU, N. A Bicycle-borne sensor for monitoring air pollution near roadways. 2015. IEEE International Conference on Consumer Electronics-Taiwan, 166-167.

WHO -World Health Organization. 7 million premature deaths annually linked to a ir pollution. Geneva: WHO, 2014. Disponível: < <https://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-pollution/en/>>. Acesso em 13 maio 2019.