

---

## Monitoramento Ambiental do Dióxido de Nitrogênio (NO<sub>2</sub>) na Área Urbana de Porto Velho – RO utilizando Amostradores Passivos

*Environmental Monitoring of Nitrogen Dioxide (NO<sub>2</sub>) in the Urban Area of Porto Velho - RO using Passive Samplers*

*Monitoreo Ambiental de Dióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>) en el Área Urbana de Porto Velho - RO utilizando Muestreadores Pasivos*

Robison Costa Souza<sup>1</sup>



<https://orcid.org/0000-0001-6998-890>

Mariangela Soares Azevedo<sup>2</sup>



<https://orcid.org/0000-0000-0002-2739-0390>

Eloiza Della Justina<sup>3</sup>



<https://orcid.org/0000-0002-7944-4039>

---

**RESUMO:** O custo de realização é um dos aspectos que interferem na quantidade de pesquisas sobre a qualidade do ar no Estado de Rondônia. Em Porto Velho, essa estatística negativa se mantém, o que dificulta o acesso dos interessados aos índices de gases nocivos. Partindo desse pressuposto, esse trabalho teve como objetivo realizar o monitoramento ambiental da qualidade do ar em Porto Velho, utilizando, para isso, a metodologia dos amostradores passivos, a fim de mensurar os níveis de dióxido de nitrogênio. As principais fontes do NO<sub>2</sub> são da queima de biomassa e de veículos, o gás é responsável por problemas respiratórios e alergias. Na pesquisa foram selecionados cinco pontos e os resultados comparados à legislação ambiental brasileira. Nos resultados, os pontos 1,2,3,4 e 5 obtiveram médias de 6,82 µg/m<sup>3</sup>; 7,21µg/m<sup>3</sup>; 10,77µg/m<sup>3</sup>; 8,79µg/m<sup>3</sup>; 9,82µg/m<sup>3</sup>, respectivamente, demonstrando que os níveis durante a pesquisa estiveram dentro dos padrões ambientais de 100µg/m<sup>3</sup>. Nos resultados, demonstrou-se a eficiência da metodologia, comparando-a com testes realizados por equipamentos ativos. Foi possível concluir que os amostradores passivos são uma alternativa acessível tanto para detectar diversos gases quanto para monitorar a qualidade do ar nas cidades do Estado de Rondônia e de todo Brasil.

**PALAVRAS-CHAVE:** Material particulado. Amostrador passivo. Dióxido de nitrogênio.

---

<sup>1</sup> Mestre em Geografia pela Universidade Federal de Rondônia. E-mail: robisoncosta@hotmail.com.

<sup>2</sup> Doutorado em Química pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Professora Titular na Universidade Federal de Rondônia, e Coordenadora da Pós-graduação em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente. E-mail: mari@unir.br.

<sup>3</sup> Doutorado em Geociências e Meio Ambiente pelo ICGEO - UNESP - RIO CLARO - SP. Professora Associada da Universidade Federal de Rondônia. E-mail: eloizadella@gmail.com.

**ABSTRACT:** *The cost of realization is one of the aspects that interfere with the amount of research on air quality in the State of Rondônia. In Porto Velho, this negative statistic remains, which makes it difficult for interested parties to access harmful gas indices. Based on this assumption, this study aimed to carry out environmental monitoring of air quality in Porto Velho, using the passive sampling methodology for this purpose, in order to measure the levels of nitrogen dioxide. The main sources of NO<sub>2</sub> are the burning of biomass and vehicles, the gas is responsible for respiratory problems and allergies. In the research five points were selected and the results compared to the Brazilian environmental legislation. In the results, points 1,2,3,4 and 5 obtained averages of 6.82 µg / m<sup>3</sup>; 7.21µg / m<sup>3</sup>; 10.77µg / m<sup>3</sup>; 8.79µg / m<sup>3</sup>; 9.82µg / m<sup>3</sup> respectively, demonstrating that the levels during the research were within the environmental standards of 100µg / m<sup>3</sup>. In the results, the efficiency of the methodology was demonstrated, comparing it with tests carried out by active equipment. It was possible to conclude that passive samplers are an accessible alternative both to detect various gases and to monitor air quality in cities in the state of Rondônia and throughout Brazil.*

**KEYWORDS:** *Particulate material. Passive sampler. Nitrogen dioxide.*

**RESUMEN:** *El costo de la realización es uno de los aspectos que interfieren con la cantidad de investigación sobre la calidad del aire en el Estado de Rondônia. En Porto Velho, esta estadística negativa permanece, lo que dificulta que las partes interesadas tengan acceso a índices de gas nocivos. En base a esta suposición, este estudio tuvo como objetivo llevar a cabo un monitoreo ambiental de la calidad del aire en Porto Velho, utilizando la metodología de muestreadores pasivos para este propósito, con el fin de medir los niveles de dióxido de nitrógeno. Las principales fuentes de NO<sub>2</sub> son la quema de biomasa y vehículos, el gas es responsable de problemas respiratorios y alergias. En la investigación se seleccionaron cinco puntos y los resultados se compararon con la legislación ambiental brasileña. En los resultados, los puntos 1,2,3,4 y 5 obtuvieron promedios de 6.82 µg / m<sup>3</sup>; 7,21 µg / m<sup>3</sup>; 10,77 µg / m<sup>3</sup>; 8,79 µg / m<sup>3</sup>; 9.82 µg / m<sup>3</sup> respectivamente, lo que demuestra que los niveles durante la investigación estuvieron dentro de los estándares ambientales de 100 µg / m<sup>3</sup>. En los resultados, se demostró la eficiencia de la metodología, comparándola con las pruebas realizadas por equipos activos. Fue posible concluir que los muestreadores pasivos son una alternativa accesible tanto para detectar diversos gases como para monitorear la calidad del aire en ciudades del estado de Rondônia y en todo Brasil.*

**PALABRAS-CLAVE:** *Material particulado. Muestra pasiva. Dióxido de nitrógeno.*

---

## INTRODUÇÃO

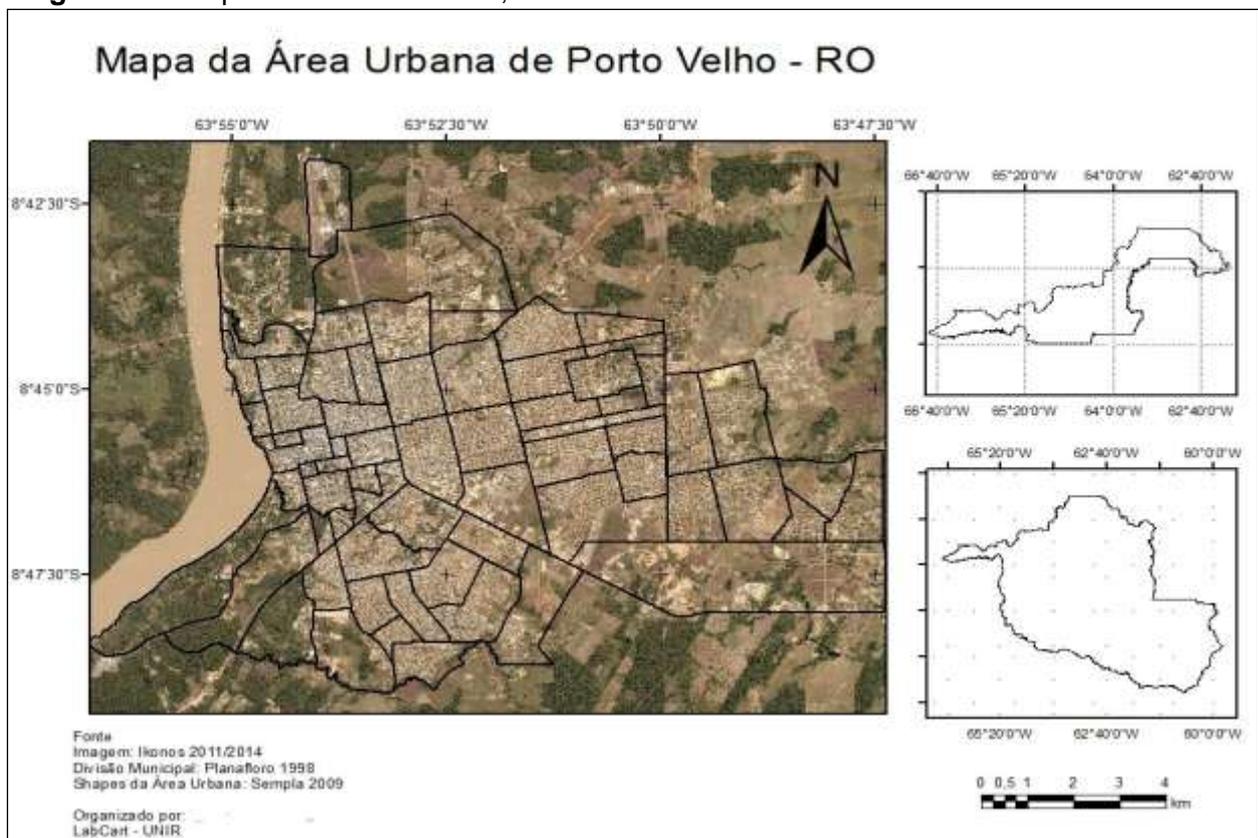
Atualmente, os estudos sobre a questão ambiental da qualidade do ar têm ganhado maior importância diante do cenário contemporâneo de grande mobilização mundial que visa a diminuição de emissões de gases que contribuem para o agravamento das péssimas condições do ar que consumimos, uma vez que esses acarretam diretamente problemas de saúde à população.

Aproximadamente 54% da população mundial habita em cidades e no Brasil esse fato não é diferente, pois 64% das pessoas vivem nos centros urbanos, segundo dados da Agência Brasil (OMS ..., 2014). Em Porto Velho, capital do Estado de Rondônia, 369.361 pessoas encontram-se residindo na sede administrativa do município, ou seja, 86% da população da capital é urbana (IBGE, 2010).

O município de Porto Velho está situado na Amazônia Ocidental e faz limites ao norte, noroeste e leste com o Estado do Amazonas; a leste com o município de Candeias do Jamari; a oeste com o Estado do Acre e a Bolívia, e ao sudoeste e sul com os municípios de Nova Mamoré e Buritis.

O município de Porto Velho possui uma extensão territorial de 34.096,394 quilômetros quadrados com sua sede municipal localizada a 08°45'42"S e 63°53'30"O (Figura 01) na margem direita do Rio Madeira, principal afluente da margem direita do Rio Amazonas, entre as altitudes entre 58 e 110 metros. A área urbana perfaz um perímetro de 116,89 quilômetros quadrados (IBGE, 2010).

**Figura 01** - Mapa da área de estudo, sítio urbano de Porto Velho



Dados do IBGE (2010) mostram que a população total do município em questão está na marca de 428.527 habitantes, sendo que 369.361 vivem exclusivamente na área urbana de Porto Velho.

De acordo com Torres e Machado (2011), o tipo de clima de Porto Velho, na classificação de Köppen, é Am correspondendo ao Clima Tropical de monção que tem como características uma breve estação seca entre os meses de junho a outubro (nesses meses a precipitação é inferior a 20 mm/mês). Segundo Silva e Della Justina (2012), o período mais chuvoso acontece nos meses de novembro a maio, sendo o período de janeiro a março o de

maior intensidade pluviométrica, cujas precipitações são superiores a 220 mm/mês. Reitera-se que as precipitações em Porto Velho estão na casa dos 2200 a 2300 mm/ano.

A cidade está situada sobre platô (área aplainada de baixa altitude) com altitudes máximas de 110 metros. A maior parte do sítio urbano está localizada na cota de 85 metros, sendo que as cotas passíveis de enchente e inundação se encontram abaixo dos 63 metros de altitude.

Partindo desses pressupostos, este estudo apresenta como metodologia os amostradores passivos já estabelecidos, empregados em várias cidades do Brasil e mundo, de fácil utilização, com resultados eficientes.

Nesse aspecto, a presente pesquisa tem os objetivos: i) realizar monitoramento ambiental da qualidade do ar, na área urbana de Porto Velho, empregando amostradores passivos; ii) quantificar os níveis de dióxido de nitrogênio, como possibilidade para espacialização e conhecimento das áreas com os maiores níveis de dióxido de nitrogênio; iii) analisar as causas e as consequências das modificações nos níveis de dióxido de nitrogênio.

## **FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

O homem enquanto espécie realiza alterações tão grandiosas no espaço e de forma tão rápida como nenhuma outra que já viveu sobre a Terra. Desse modo, teve e talvez jamais terá a mesma capacidade de realizar tais feitos.

Com o aprimoramento dessas técnicas, a sociedade foi tornando-se cada vez mais urbana, fato que demandou novas formas de (re)pensar e planejar esses espaços, para que pudessem comportar todo esse contingente que passou a fazer desse espaço o seu novo habitat, a cidade.

Nesse contexto de planejamento urbano na Amazônia, verifica-se que no período de estiagem amazônica acontecem os maiores índices de queimadas nessa região, cujos estados com maior incidência de queimadas contribuem para a poluição nos estados vizinhos.

É possível citar o caso crítico acontecido na cidade de Manaus (AM), em dezembro de 2015, na qual, segundo dados do Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE), as fumaças oriundas dos estados do Maranhão e do Pará foram conduzidas pelos ventos Alísios até sobreporem a capital do Amazonas, gerando transtornos para a população local (FUMAÇA ..., 2016).

A poluição do ar nos dias atuais é a causa de grandes problemas de saúde para os seres humanos, fauna e flora e para o meio físico. De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU), em estudos realizados no ano de 2012, 88% da população mundial

residente nas cidades estavam expostas à poluição do ar. Ainda segundo a OMS, mais da metade da população urbana estava expostas a uma taxa de poluição 2,5 vezes maior que os valores recomendados (OMS..., 2014).

Perante o panorama preocupante de poluição do ar, surgem os primeiros equipamentos, técnicas, metodologias e trabalhos em torno dessa problemática. Alguns desses equipamentos são: escala de Ringelmann, medidor de cor de fumaça; amostradores passivos para detectar níveis de determinado gás na atmosfera; botijões SUMMA utilizados para hidrocarbonetos e orgânicos voláteis; AGV - Amostrador de Grandes Volumes utilizado para detecção de partículas totais em suspensão; há também a detecção realizada por estações móveis, na qual um veículo é adaptado para realizar as medições em diversos pontos (FRONDIZI, 2008).

Os equipamentos para detecção de poluição do ar são divididos em dois tipos: os ativos, que fazem coleta de poluentes por meio de bombas de sucção, utilizando-se de energia elétrica e os equipamentos passivos que, segundo Melchert e Cardoso (2006), não necessitam de energia elétrica para coletarem as amostras de um determinado gás, pois essa coleta é feita pelo fenômeno da difusão molecular.

A difusão molecular é resultante do movimento casual das moléculas, que ocorre no meio onde o gás se encontra estagnado. Como consequência deste movimento molecular, existe uma tendência natural dos gases de ocuparem com a mesma concentração o volume do recipiente em que ele se encontra (MELCHERT; CARDOSO, 2006, p. 365).

Inicialmente, os amostradores passivos eram utilizados para monitoramento em ambientes de trabalho. Atualmente, vem sendo utilizado em pesquisas acadêmicas e sua utilização já se mostrou eficaz para detecção do NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> e O<sub>3</sub>, para elencar apenas alguns dos gases.

Segundo Cruz e Campos (2002), a primeira patente para utilização de amostradores passivos data de 1927, tendo como objetivo o monitoramento de CO, em ambientes fechados. A partir de 1973, as bases teóricas para utilização de amostradores para SO<sub>2</sub> proporcionaram o aumento do número de pesquisas desenvolvidas com o auxílio dos amostradores passivos.

Ainda hoje essa metodologia se mostra eficaz para a determinação da concentração de poluentes, como se pode verificar em estudos desenvolvidos por Garcia (2009) no monitoramento do ozônio troposférico, em estudos ambientais. Melchert e Cardoso (2006) realizaram a construção de amostradores passivos construídos com recipientes de cola em bastão para demonstrar como é possível realizar detecção do NO<sub>2</sub> utilizando equipamentos baratos e disponíveis facilmente.

No tocante às legislações que embasaram este estudo foram as seguintes: Resolução CONAMA Nº 03 de 1990 (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 1990); Lei Estadual n. 547 de 30 de dezembro de 1993; Decreto Estadual n. 7.903 de 01 de julho de 1997 (RONDÔNIA, 1993, 1997); Lei Municipal Complementar n. 138 de 28 de dezembro de 2001 (PORTO VELHO, 2001); Portaria MINTER nº 100 de 14 de julho de 1980 (BRASIL, 1980).

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### **Caracterização da Área de Estudo**

A execução dos trabalhos relativos aos amostradores passivos foi executada em quatro etapas: análises laboratoriais, trabalho de campo, análise dos amostradores e plotagem dos dados.

A exposição ambiental ocorreu por uma semana em cinco pontos da área urbana de Porto Velho, a fim de analisar os níveis de dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>) em cada ponto. As amostras foram obtidas entre os meses de abril a agosto de 2016. Os amostradores foram fixados de forma que pudessem abranger as principais zonas da cidade, sendo dispostos nos seguintes locais:

Ponto 1 - Zona Norte, Instituto de Pesos e Medidas (IPEM), localizado na Avenida dos Imigrantes (BR 319) esquina com Avenida Farquar, coordenadas geográficas 8°44'34.54"S e 63°54'45.73"O. Setor político administrativo do Estado, comércio local de bairros, concentração de empresas distribuidoras de petróleo e grande movimentação de veículos pesados que se dirigem para essas empresas e para o porto da cidade com grãos de Rondônia e de estados vizinhos, aeroporto, complexo hospitalar da cidade e local de condomínios e bairros residenciais.

Ponto 2 - Zona Central, Ferroviário Atlético Clube, localizado na Avenida 7 de Setembro, esquina com Euclides da Cunha, coordenadas geográficas 8°45'56.89"S e 63°54'26.02"O. Setor comercial de Porto Velho, setor hoteleiro, complexo turístico, Estrada de Ferro Madeira Mamoré, intenso fluxo de veículos e pessoas, escolas particulares e públicas, agências bancárias, Tribunal de Justiça, Assembleia Legislativa, Palácio do Governo, Reitoria da Universidade Federal de Rondônia e sede da Prefeitura Municipal de Porto Velho.

Ponto 3 - Trevo do Roque, empresa Mar Veículos, localizada na Avenida Jorge Teixeira (BR 319) esquina com Rua Alexandre Guimarães, coordenadas geográficas 8°46'9.98"S e 63°53'0.11"O. Situado no entroncamento das BR 364 e BR 319 que ligam Rondônia ao Estado do Acre e ao Amazonas, respectivamente, com grande movimentação

de veículos pesados e setor comercial especializado em veículos, central de polícia e bairros residenciais.

Ponto 4 - Zona Leste, Escola de Música Som na Leste, localizada na Avenida Mamoré, coordenadas geográficas 8°45'25.74"S e 63°50'43.40"O. Setor comercial significativo na Avenida José Amador dos Reis, encontram-se também os bairros mais carentes da cidade, algumas indústrias, faculdades, grande número de escolas, setor chacareiro e local de expansão urbana que acontece próximo aos bairros Ulisses Guimarães e Marcos Freire.

Ponto 5 - Zona Sul, empresa Casa da Fotografia, localizada na Avenida Jatuarana, coordenadas geográficas 8°47'33.24"S e 63°53'22.85"O. Grande concentração de bairros residenciais, assim como a Zona Leste, a Zona Sul também possui um significativo setor comercial distribuído ao longo de sua principal avenida, a Jatuarana. Também estão situadas algumas fábricas, condomínios residenciais e áreas chacareiras. Nesta zona também foram observadas áreas de expansão urbana.

### **Procedimentos Metodológicos**

O funcionamento dos amostradores passivos é governado pela primeira Lei de Fick, pela qual a difusão gasosa é utilizada para coleta do analítico de interesse, descrito por Melchert e Cardoso (2006).

### **Preparação das soluções dos amostradores passivos**

Solução adsorvente de trietanolamina 11% (v/v), por Melchert e Cardoso (2006)

11 mL de trietanolamina; 3,5 mL de Etilenoglicol; 25 mL de acetona e complemento do volume do balão de 100 mL com água deionizada.

Esta solução foi utilizada para impregnar os filtros que seriam expostos em campo.

Reagente de Griess-Saltzman, por Melchert e Cardoso (2006)

Solução estoque de N-(1-naftil)-etilenodiamina (solução 0,1%): pesou-se 0,1g de N-(1-naftil)-etilenodiamina, diluição com água deionizada e foi transferida para um balão volumétrico de 100 mL, completando o mesmo até o volume de 100 mL (MELCHERT; CARDOSO, 2006). Esta solução foi utilizada para a preparação do reagente de Griess-Saltzman.

Após a preparação da solução estoque de N-(1-naftil)-etilenodiamina (solução 1%), seguiu-se os seguintes passos para a preparação definitiva do Griess-Saltzman.

Para a preparação do reagente de Griess-Saltzman, foi utilizado um balão volumétrico de 1L:

- 1) transferiu-se para o balão volumétrico a quantia de 140 mL de ácido acético glacial;
- 2) acrescentou-se 20 mL da solução estoque de N-(1-naftil)-etilenodiamina;
- 3) pesou-se 5g de ácido sulfanílico e realizou-se sua diluição transferindo-o para o balão volumétrico de 1 L, completou-se o balão volumétrico até a marca de 1 L.

Essa solução foi utilizada para a extração dos filtros de campo e também para a construção da curva de calibração.

Solução estoque de nitrito de potássio, por Melchert e Cardoso (2006)

- 1) pesou-se 1,7786 g de Nitrito de Potássio;
- 2) realizou-se a diluição do sal com água deionizada e o transferiu-se para um balão volumétrico de 1L.

Essa solução foi utilizada para a construção da curva de calibração

Solução extratora de metanol 5% (v/v), por Melchert e Cardoso (2006)

Utilizou-se um balão volumétrico de 100 mL, foi transferido 5 mL de metanol para este balão e completou com água deionizada até o seu volume de 100 mL.

Essa solução foi utilizada para a extração dos filtros de campo e também para a construção da curva de calibração.

Curva de calibração por Melchert e Cardoso (2006)

Primeiramente, foi preparada a Solução de Trabalho de Nitrito de Potássio (KNO<sub>2</sub>), e para tal realizou-se o seguinte procedimento:

- 1) Um balão volumétrico de 1L, pipetou para este balão 10 mL da solução estoque de nitrito de potássio ( $C = 1,78 \cdot 10^{-3} \text{ gmh}^{-1}$ ), em seguida completou-se o volume do balão com água deionizada até seu nível de 1L;
- 2) As soluções utilizadas para construção da curva de calibração foram as seguintes: solução de trabalho de nitrito de potássio, metanol 5% (v/v) e o reagente de Griess-Saltzman;

- 3) Para a construção da curva de calibração foram necessários sete balões volumétricos de 10 mL, sendo que, um foi utilizado para definir o branco e os seis restantes foram utilizados para receber o  $\text{KNO}_2$ ;
- 4) No balão volumétrico do branco adicionou-se 5 mL de metanol 5% (v/v) e completou-se o balão com o reagente de Griess-Saltzman;
- 5) Nos demais balões 1, 2, 3, 4, 5 e 6, foram pipetados respectivamente com 30, 70, 130, 200, 340, 510  $\mu\text{L}$  da solução de trabalho de nitrito de potássio, em seguida adicionou-se 5 mL de metanol 5% (v/v) e completou o volume do balão com o reagente de Griess-Saltzman.
- 6) Após a preparação de cada balão esperou-se 15 minutos para que a reação fosse completada, figura 02.

**Figura 02** - Balões da curva de calibração

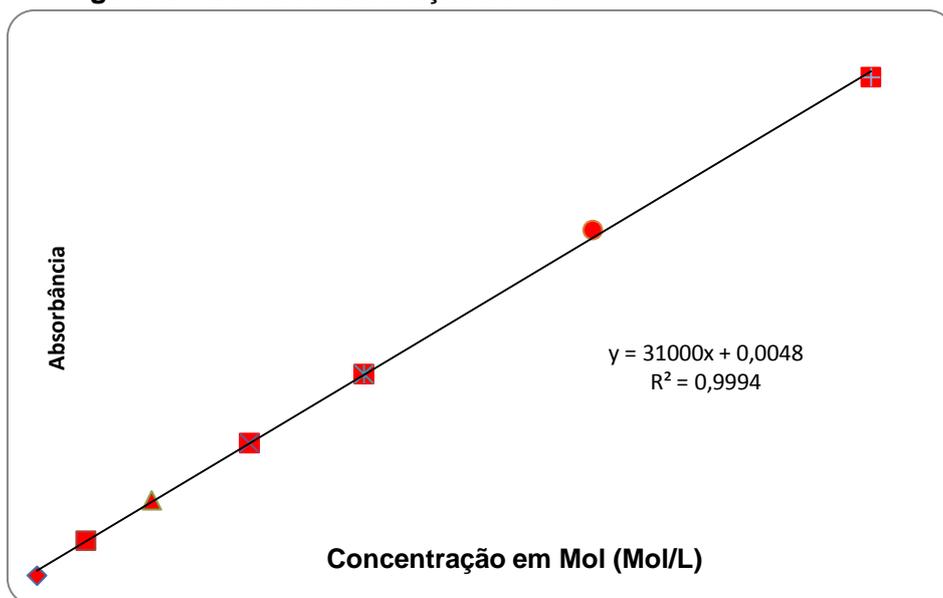


**Fonte:** Souza (2016).

Após 15 minutos de repouso, foram realizadas as leituras das soluções no UV – VIS no comprimento de ondas de 540 nm.

- 7) Em seguida, realizou-se a leitura do balão do branco e dos demais balões 1 a 6. Nos balões de 1 a 6, foram realizadas três leituras (triplicata) em cada balão no espectrofotômetro;
- 8) Após as leituras, os dados foram anotados para que fossem realizados os cálculos da equação da reta. Os resultados obtidos foram utilizados para calcular as concentrações dos amostradores passivos, apresentados na figura 3.

**Figura 3 - Curva de Calibração do NO<sub>2</sub>**



Fonte: Souza (2016).

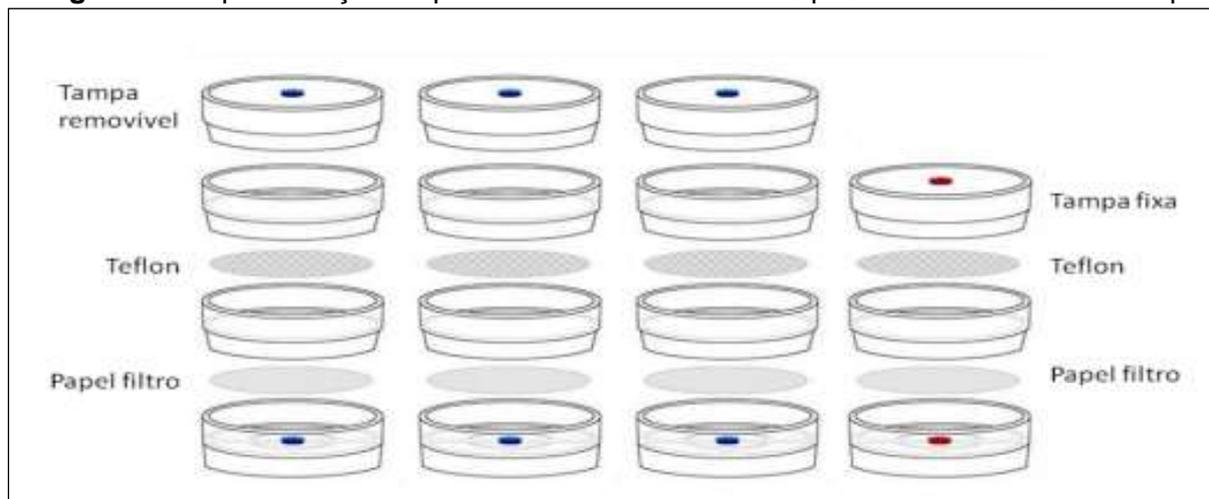
### Preparação dos amostradores passivos

Foram utilizadas peças de acrílico e dois filtros, um de celulose Whatman nº 41 com diâmetro de 37 milímetros e o segundo de Teflon (Millipore), também com 37 milímetros de diâmetro, 0,45 µm de porosidade e 175 µm de espessura, conforme pode ser observado na Figura 4.

De acordo com Melchert e Cardoso (2006), a barreira porosa de teflon acondicionada numa distância de 1,1 centímetros do filtro coletor de NO<sub>2</sub> serve para barrar partículas maiores que chegam até o filtro de celulose e, também, para criar uma área onde o ar possa ficar estagnado dentro do amostrador, fornecendo assim as condições ideais para o desenvolvimento da difusão molecular. Dessa forma, foram realizados os seguintes procedimentos:

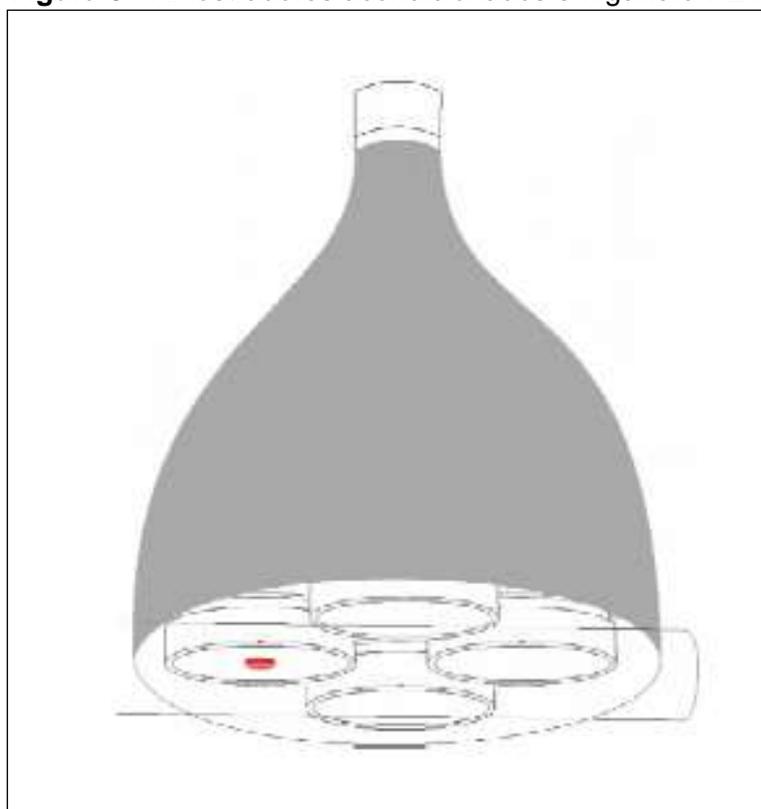
- 1) no filtro de celulose Whatman nº 41 foram impregnados 80 µl de Trietanolamina 11% (v/v);
- 2) acondicionou-se os amostradores numa garrafa pet, como representado na figura 5, esse acondicionamento serviu como proteção para os amostradores;
- 3) o transporte dos amostradores após a sua montagem foram fechados; para cada ponto utilizou-se quatro amostradores: três para coletar o NO<sub>2</sub> foram abertos no local a ser analisado e um que serviu como branco de campo (controle) manteve-se fechado, figura 5.

**Figura 4** - Representação esquemática dos amostradores passivos utilizados em campo



Fonte: Oliveira (2013).

**Figura 5** - Amostradores acondicionados em garrafa PET



Fonte: Garcia (2009).

### Extração dos amostradores de campo

Passado o tempo de exposição dos amostradores (sete dias), eles foram retirados dos pontos, tampados, acondicionados numa caixa térmica e encaminhados para o laboratório para que fossem realizadas as análises.

O procedimento para extração dos amostradores passivos foram os seguintes:

- 1) com o auxílio de uma seringa de 5 mL, coletou-se 5 mL de metanol 5% (v/v);
- 2) em seguida impregnou-se a solução de metanol 5% (v/v) no filtro de celulose Whartman nº 41 que foram expostos em campo, lavando-os várias vezes;
- 3) transferiu-se essa solução para um balão volumétrico de 10 mL;
- 4) completou-se o balão volumétrico de 10 mL com o reagente de Griess-Saltzman;
- 5) esperou-se 15 minutos para que a reação se completasse;
- 6) realizou-se as leituras das absorvâncias no UV-VIS em comprimento de onda de 540 nm;
- 7) os resultados foram anotados para posterior realização dos cálculos de concentração.

### Equação de Fick

Esta equação é a mesma utilizada por Melchert e Cardoso (2006) para obtenção da concentração de dióxido de nitrogênio NO<sub>2</sub> no ambiente.

$$Q_A = \frac{[-D_{AB}(C_A - C_{0,A})\pi r^2 t]}{Z}$$

Onde:

$C_A - C_{0,A}$  = a concentração do gás A no interior do tubo de comprimento z;

$C_A$  = a concentração do gás A, no ambiente;

$C_{0A}$  = a concentração do gás A na extremidade oposta junto a superfície do sorvente;

$D_{ab}$  = é o coeficiente de difusão do gás, no caso o NO<sub>2</sub>;

r = é o raio do amostrador elevado ao quadrado;

t = tempo de exposição do amostrador;

Z = é a distância existente entre o filtro de celulose e o filtro de teflon;

Q = número de mol;

$$Q_A = \frac{[-D_{AB}(C_A - C_{0,A})\pi r^2 t]}{Z}$$

$$1,85 \times 10^{-7} = \frac{0,1361 C \pi (1,9)^2 613800}{1,1}$$

$$C = \frac{1,85 \times 10^{-7} \times 1,1}{0,1361 \pi (1,9)^2 613800}$$

$$C = \frac{2,03 \times 10^{-7}}{9,47 \times 10^5} \quad \Rightarrow \quad 1,5 \times 10^{-13} \text{ mol/cm}^3$$

Transformando de mol/cm<sup>3</sup> para mol/L

$$2,15 \times 10^{-13} \text{ mol/cm}^3 \quad \Rightarrow \quad 2,15 \times 10^{-10} \text{ mol/L}$$

### Relação de NO<sub>2</sub> encontrado no ar com a de nitrito no amostrador

$$\begin{array}{l} 1 \text{ mol de NO}_2 \quad \longrightarrow \quad 0,72 \text{ mol de nitrito da solução} \\ X \quad \quad \quad \longrightarrow \quad 2,15 \times 10^{-10} \\ 0,72 X = 2,15 \times 10^{-10} \\ X = 2,15 \times 10^{-10} / 0,72 \\ X = 2,99 \times 10^{-10} \text{ mol de NO}_2 \end{array}$$

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o período da pesquisa, as concentrações de dióxido de nitrogênio na área urbana de Porto Velho alcançaram as concentrações implícitas na Tabela 1. A partir desses resultados, foram gerados mapas, tabelas e gráficos e realizada a discussão.

**Tabela 1** - Concentrações de NO<sub>2</sub> nos pontos amostrados, unidade de medida em µg/m<sup>3</sup> de acordo com a Resolução Conama nº 03 de 1990

Mês	Concentrações de NO <sub>2</sub> em µg/m <sup>3</sup>				
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5
Abril	5,05	5,73	5,48	10,00	7,96
Maio	6,42	6,37	9,88	6,69	9,38
Junho	5,53	4,42	8,87	7,30	8,09
Julho	6,92	6,83	13,00	8,66	8,79
Agosto	10,20	12,70	16,60	11,30	14,90
<b>Total</b>	<b>34,12</b>	<b>36,05</b>	<b>53,83</b>	<b>43,95</b>	<b>49,12</b>
<b>Média das Concentrações</b>	<b>6,82a</b>	<b>7,21a</b>	<b>10,77a</b>	<b>8,79a</b>	<b>9,82a</b>

Fonte: Souza (2016).

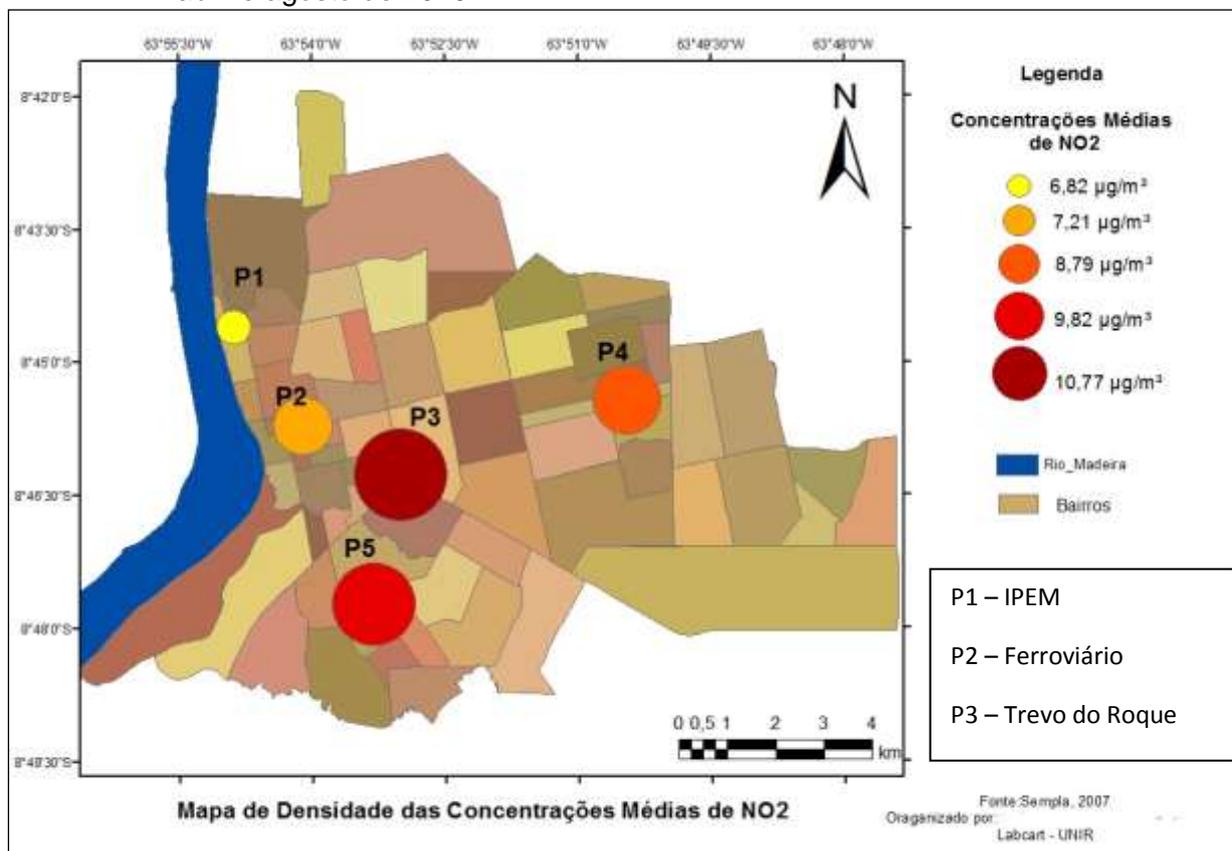
Os resultados foram analisados utilizando-se a variância pelo teste F, em suas médias aplicou-se o teste de Turkey ao nível de 5% de probabilidade. Os resultados obtidos após análise demonstraram que as médias seguidas pela mesma letra “a” (Tabela 1) não diferem estatisticamente entre si (SILVA, 2016).

Os resultados foram comparados tomando como referência a Resolução Conama nº 03 de 28 de junho de 1990, que dispõe sobre os padrões de qualidade do ar previsto no PRONAR – Programa Nacional de Controle de Qualidade do AR.

Observa-se que os pontos com médias aritméticas mais elevadas foram os pontos 3 e 5, com concentrações de 10,77 e 9,82 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente. Os pontos 3 e 5 são os do Trevo do Roque e Jatuarana.

Conforme os resultados apresentados na Tabela 1 ficou constatado que as concentrações de dióxido de nitrogênio obtidas durante o período da pesquisa demonstram que as concentrações nos cinco pontos estão dentro dos padrões de qualidade, haja vista que de acordo com a Resolução Conama 03 de 1990 os padrões de qualidade do ar para o dióxido de nitrogênio não podem ultrapassar a média de 100 µg/m<sup>3</sup>. A plotagem das médias das concentrações de Dióxido de Nitrogênio foi realizada (Figura 6) para exemplificar a espacialização de tais concentrações sobre o espaço urbano da cidade.

**Figura 6** - Mapa de densidade das concentrações médias de NO<sub>2</sub> entre os meses de abril e agosto de 2016



Na análise individual por cada ponto, foi possível verificar que o ponto 3, no mês de agosto, alcançou o maior pico durante o período da experiência de 16,60  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Tal fato se deve a esse ponto ser um local de intenso fluxo de veículos que transitam na cidade e também ser o principal entroncamento que liga o Estado de Rondônia aos estados do Acre, Mato Grosso e Amazonas e também acesso ao porto da cidade, motivo que faz com que o fluxo de caminhões de logística nessa região é constante.

O ponto 3, mesmo sendo o ponto de maior concentração, está bem abaixo dos níveis considerados preocupantes. Entretanto, cabe como alternativa para minimizar ainda mais os níveis nesse ponto o redirecionamento do fluxo de veículos pesados dentro da área urbana com a criação de anéis viários ou rotas alternativas que saiam do perímetro urbano e migrem para áreas periféricas.

Na pesquisa foi possível constatar também que o ponto com a menor taxa de concentração de dióxido de nitrogênio foi observado no Ponto 2 (Ferroviário), no mês de junho, cuja concentração mensurada foi de 4,42  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Neste ponto foi observado a segunda menor média dos níveis de dióxido de nitrogênio durante a pesquisa marcando 7,21  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Já o ponto com a menor média de concentração do dióxido de nitrogênio foi o Ponto 1 (IPEM), na qual foi registrada a média de 6,82  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Esses dois pontos, 1 e 2, estão localizados próximos ao Rio Madeira e, desse modo, ambos podem sofrer influência das chamadas brisas fluviais.

Segundo Fisch e Nobre (1998), a brisa fluvial é um fenômeno natural que acontece devido às diferenças térmicas entre o corpo d'água (rio) e a superfície terrestre, ocasionado pelo aquecimento desses dois corpos pelos raios solares. Durante o dia, a superfície terrestre está com a temperatura mais elevada do que a temperatura do rio, sendo assim as camadas de ar quente e menos densas da terra se elevarão, deixando lugar para as camadas de ar frias e mais densas que vêm do rio, formando assim a brisa fluvial. Durante a noite, esse fenômeno se reverte, ou seja, a brisa se forma na superfície terrestre indo em direção ao rio. A ação da brisa fluvial pode influenciar na dispersão dos poluentes abaixando os níveis de dióxido de nitrogênio nesses dois pontos.

Realizando uma comparação dos resultados alcançados nesta pesquisa que obtiveram picos de médias entre 4,42 e 13,0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  com pesquisas desenvolvidas em outras cidades brasileiras, verificou-se que o presente trabalho obteve resultados semelhantes. Oliveira (2013) realizando a determinação do  $\text{NO}_2$  no entorno do Parque Estadual Alberto Lofgren (SP) obteve uma variação do  $\text{NO}_2$  entre 4,0 e 16,3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Por sua vez, Campos *et al.* (2006), ao realizarem experimento de monitoramento do  $\text{NO}_2$  em área urbana com influência industrial na cidade de Salvador (BA), obtiveram picos variando entre 2,3 e 11,0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Comparando também com os resultados do Relatório de Monitoramento do Ar da Área Urbana de Porto Velho, realizado pela Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental (SEDAM) e lançado em agosto de 2016, entre os meses de abril a maio de 2016, com amostradores ativos, os picos de médias para o NO<sub>2</sub> estiveram na marca entre 2,7 e 18,34 µg/m<sup>3</sup> (RONDÔNIA, 2016). Nesse entendimento, as concentrações obtidas estão dentro dos parâmetros de acordo com as legislações vigentes.

## CONCLUSÕES

O desenvolvimento desta pesquisa possibilitou a verificação de que os níveis de dióxido de nitrogênio estão dentro dos padrões de acordo com a legislação brasileira. Entretanto, ao obter tais resultados, esses não podem ser os únicos sobre o tema, sendo necessária a continuação do monitoramento ambiental na cidade, não somente do dióxido de nitrogênio, mas também de outros poluentes nocivos para a população.

Em relação à utilização dos amostradores passivos, os valores da concentração de NO<sub>2</sub> ficaram dentro dos padrões da Resolução Conama nº 03 de 1990. Foi possível constatar a forte influência dos ventos que percorrem a calha do Rio Madeira nas áreas próximas, considerando que isso ficou comprovado com os resultados baixos dos níveis de NO<sub>2</sub> no ponto 1, localizado no IPEM, e no ponto 2, localizado no Clube Ferroviário, ambos localizados próximos ao rio Madeira. Esses ventos trabalham na dispersão dos poluentes, culminando nos baixos índices de NO<sub>2</sub>.

Confrontando os valores obtidos com os amostradores passivos que ficaram entre 4,42 e 13,0 µg/m do NO<sub>2</sub> urbano no monitoramento, com os valores obtidos com amostradores ativos que foram de 2,7 e 18,34 µg/m<sup>3</sup>, realizados pela SEDAM em Porto Velho, no período de abril e maio de 2016, mais uma vez os resultados estiveram próximos, o que mostra a eficiência do método passivo para medir a poluição por NO<sub>2</sub>.

Ao realizar um comparativo com outras pesquisas desenvolvidas pelo Brasil que fizeram uso desta mesma metodologia e analisando o mesmo gás, os resultados obtidos neste trabalho se mostraram semelhantes, comprovando a sua eficiência.

Diante dos resultados, é possível afirmar que a metodologia aplicada é de grande importância não só para a área de estudo aqui apresentada, mas também para as demais cidades do Brasil, fazendo com que os agentes que buscam avaliar a poluição atmosférica por meio de lançamentos por diversas fontes, se figurem como ações preventivas e fiscalizadoras em prol da boa qualidade do ar.

---

## REFERÊNCIAS

- BRASIL. **Portaria MINTER nº100, de 14 de julho de 1980**. Dispõe sobre a emissão de fumaça por veículos movidos a óleo diesel. Brasília, DF: MINTER, 1980. Disponível em: [http://www.marconatto.com.br/conteudo/legislacao/portaria\\_minter\\_n100\\_1980.pdf](http://www.marconatto.com.br/conteudo/legislacao/portaria_minter_n100_1980.pdf). Acesso em: 12 jul. 2020.
- CAMPOS, Vânia Palmeira *et.al.* Monitoramento atmosférico passivo de SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> e O<sub>3</sub> em áreas urbanas e de influência industrial como pratica de química ambiental para alunos de graduação. **Química Nova**, São Paulo, SP, v. 29. n. 4, p. 872 – 875, jul. /ago. 2006.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA nº 3, de 28 de junho de 1990**. Dispõe sobre os padrões da qualidade do ar e os poluentes atmosféricos. Brasília, DF: MMA/CONAMA, 1990. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res90/res0390.html>. Acesso em: 12 jul. 2020.
- CRUZ, Lícia Passos dos Santos; CAMPOS, Vânia Palmeira. Amostragem passiva de poluentes atmosférica: aplicação ao SO<sub>2</sub>... **Química Nova**, São Paulo, SP, v. 25, n. 3, p. 406 – 411, 2002.
- FISCH, Gilberto F.; NOBRE, Carlos A. Uma revisão geral do clima da Amazônia. **Acta Amazônica**, Manaus, AM, v. 28. n. 2, p. 101 – 126, 1998.
- FRONDIZI, Carlos Alberto. **Monitoramento da qualidade do ar: teoria e Prática**. Rio de Janeiro: E-papers, 2008.
- FUMAÇA que encobre Manaus é gerada ao longo do curso do rio Amazonas, **Portal Amazônia**, Manaus, 4 jan. 2016. Notícias. Disponível em: <http://portalamazonia.com>. Acesso em: 22 abr. 2016.
- GARCIA, Gabriel. **Construção e calibração de amostrador passivo para determinação de ozônio troposférico**. 2009. Dissertação (Mestrado em Química) - Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, SP, 2009.
- IBGE. **Censo demográfico 2010**: população residente urbana na sede municipal. Rio de Janeiro, RJ: IBGE, 2010. Disponível em: <http://www.censo2010.ibge.gov.br>. Acesso em: 8 abr. 2016.
- MELCHERT, Wanessa R.; CARDOSO, Arnaldo A. Construção de amostrador passivo de baixo custo para determinação de Dióxido de Nitrogênio. **Química Nova**, São Paulo, SP, v. 29, n. 2, p. 365 – 367, 2006.
- OLIVEIRA, Yedda Christina Bezerra Barbosa de. **Determinação da concentração do Dióxido de Nitrogênio (NO<sub>2</sub>) atmosférico que pode contribuir para o aumento da disponibilidade de Nitrogênio reativo na região do Parque Estadual Alberto Löfgren, SP**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Biológicas) - Universidade Federal de São Carlos, SP, Sorocaba, SP, 2013.
- OMS: quase 90% da população urbana estão expostos à poluição do ar. **Agência Brasil** Brasília, DF, 7 maio 2014. Notícias. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/internacional/noticia/2014-05/oms-quase-90-da-populacao-urbana-estao-expostos-poluicao-do-ar>. Acesso em: 18 mar. 2016.
- PORTO VELHO (Município). **Lei Complementar 138 de 28 de dezembro de 2001**. Institui o Código Municipal de Meio Ambiente e dá outras providências. Porto Velho, RO: COMDEMA, 2001. Disponível em: <http://www.portovelho.ro.gov.br/>. Acesso em 12 jul. 2020.
- RONDÔNIA (Estado). **Lei 547 de 30 de dezembro de 1993**. Dispõe sobre a criação do Sistema Estadual de Desenvolvimento Ambiental de Rondônia - SEDAR e seus instrumentos, estabelece medidas de proteção e melhoria da qualidade de meio ambiente, define a Polícia Estadual de Desenvolvimento Ambiental, cria o Fundo Especial de Desenvolvimento Ambiental - FEDARO e o Fundo Especial de Reposição Florestal -

FEREF. Porto Velho, RO: Assembléia Legislativa, 1993. Disponível em: [http://data.portal.sistemas.ro.gov.br/2019/02/Lei\\_547-1993\\_-\\_SEDAR.pdf](http://data.portal.sistemas.ro.gov.br/2019/02/Lei_547-1993_-_SEDAR.pdf). Acesso em: 12 jul. 2020.

RONDÔNIA (Estado). Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental. **Decreto 7.903 de 01 de julho de 1997**. Regulamenta a Lei nº 547, de 30 de dezembro de 1993, que dispõe sobre proteção, recuperação, controle, fiscalização e melhoria de qualidade do meio ambiente no Estado de Rondônia. Porto Velho, RO: SEDAM, 1997. Disponível em: <http://www.sedam.ro.gov.br>. Acesso em: 20 abr. 2020.

RONDÔNIA (Estado). Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental – SEDAM. **Monitoramento da qualidade do ar em Porto Velho**. Porto Velho, RO: SEDAM, 2016. CD-ROM.

SILVA, Francisco de A. S. e. **ASSISTAT**: Versão 7.7 beta. DEAG-CTRN-UFCG – atualizado em 01 de janeiro de 2016. Disponível em: <http://www.assistat.com>. Acesso em: 29 set. 2016.

SILVA, Marcio Feslisberto da; DELLA JUSTINA, Eloiza Elena. **Mapeamento Geomorfológico da Bacia do Igarapé Grande Porto Velho - RO**. In: Encontro Internacional de Geografia: Colonização, Território e Meio Ambiente em Rondônia, 2012, Porto Velho..

SOUZA, Robison Costa de. **Diagnóstico ambiental da qualidade do ar na área urbana de Porto Velho utilizando amostradores passivos e escala de Ringelmann**. 2016. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Rondônia, RO, Porto Velho, RO, 2016.

TORRES, Fillipe Tamiozzo Pereira; MACHADO, Pedro José de Oliveira. **Introdução a climatologia**. São Paulo: Cengage Learnig, 2011.

**Recebido:** fevereiro de 2020.  
**Aceito:** julho de 2020.