

# APLICAÇÃO DE AMOSTRADORES PASSIVOS PARA A QUANTIFICAÇÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS NO RIO GRANDE DO SUL

*Data de submissão: 14/04/2023*

*Data de aceite: 02/05/2023*

### **Cícero Coelho Escobar**

Universidade Federal de Pelotas, Centro  
de Engenharias  
Pelotas - RS  
<http://lattes.cnpq.br/2824357187395679>

### **Erik Klen**

Universidade Federal de Pelotas, Centro  
de Engenharias  
Pelotas - RS  
<http://lattes.cnpq.br/8995915350975227>

### **Caroline Menezes Pinheiro**

Universidade Federal de Pelotas, Centro  
de Engenharias  
Pelotas - RS  
<http://lattes.cnpq.br/5984557031030431>

### **Julia Mendes**

Universidade Federal de Pelotas, Centro  
de Engenharias  
Pelotas - RS  
[lattes.cnpq.br/1280242396515862](http://lattes.cnpq.br/1280242396515862)

### **Mery Luiza Garcia Vieira**

Universidade Federal de Pelotas, Centro  
de Engenharias  
Pelotas - RS  
<http://lattes.cnpq.br/4150741435340492>

### **Maurizio Silveira Quadro**

Universidade Federal de Pelotas, Centro  
de Engenharias  
Pelotas - RS  
<http://lattes.cnpq.br/1749935262841216>

**RESUMO:** As emissões das variadas fontes poluidoras afetam diretamente a qualidade do meio ambiente e principalmente a saúde humana. Com isso, torna-se uma necessidade encontrar técnicas para o monitoramento do ar. A técnica de amostragem passiva tem sido uma alternativa viável pelo seu baixo custo e simples operação, funcionando como um filtro de absorção de poluentes atmosféricos. Neste trabalho, buscou-se desenvolver uma pesquisa bibliográfica sobre os estudos referentes ao uso de amostradores passivos no estado do Rio Grande do Sul. No período de 10 anos (2012 a 2022) foram encontrados 5 estudos a partir de plataformas digitais de pesquisa. No intuito de comparar os resultados dos trabalhos da literatura, nesta revisão serão considerados os principais poluentes (como NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> e SO<sub>2</sub>) analisados nas cidades, e os parâmetros como período de amostragem,

o ciclo de exposição, soluções absorvedoras, entre outros parâmetros relevantes. Os resultados compilados nesse trabalho devem auxiliar pesquisas futuras visando o uso amostradores passivos para quantificação de gases poluentes atmosféricos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Qualidade do ar, Poluição do ar, Emissões gasosas.

## APPLICATION OF PASSIVE SAMPLERS FOR THE QUANTIFICATION OF ATMOSPHERIC POLLUTANTS IN RIO GRANDE DO SUL

**ABSTRACT:** Emissions from various polluting sources directly affect the quality of the environment, especially human health. Thus, it becomes a necessity to find techniques for air monitoring. Passive sampling technique has been a viable alternative due to its low cost and simple operation, working as an absorption filter for atmospheric pollutants. In this work, we sought to develop a bibliographical research on studies referring to the use of passive samplers in the state of Rio Grande do Sul. In a period of 10 years (2012 to 2020), 5 studies were found using research platforms. In order to compare the results of works in the literature, this review will consider the main pollutants (such as  $\text{NO}_2$ ,  $\text{O}_3$  and  $\text{SO}_2$ ) analyzed in cities, and parameters such as sampling period, exposure cycle, absorbent solutions, among other relevant parameters. The results compiled in this work should help future researches aiming at the use of passive samplers to quantify atmospheric pollutant gases.

**KEYWORDS:** Air quality, Air pollution, Gaseous emissions.

## 1 | INTRODUÇÃO

O aumento da população em conjunto com a intensificação de atividades industriais e circulação de automóveis em centros urbanos tem causado preocupações acerca da presença de poluentes atmosféricos. Segundo dados da Organização Mundial da Saúde, cerca de 6 milhões de mortes prematuras por ano são causadas pela exposição à poluição do ar em ambientes externos e internos (WHO, 2017).

Alguns dos poluentes atmosféricos se manifestam mais intensamente e, por isso, são consagrados mundialmente como necessários de monitorar, tais como: Dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ), ozônio ( $\text{O}_3$ ) e dióxido de nitrogênio ( $\text{NO}_2$ ). O  $\text{SO}_2$  e o  $\text{NO}_2$  são gases de origem primária, ou seja, são emitidos diretamente pela fonte de emissão. Além disso, a presença de  $\text{NO}_2$  também ocorre na atmosfera devido a oxidação do óxido nítrico (NO) na atmosfera. Alguns exemplos de fontes desses gases são as atividades industriais, os escapamentos de motores, as queimadas da agricultura, os aterros sanitários, como também, por fontes naturais como em vulcões e relâmpagos (BUCCO, 2010). No caso do  $\text{SO}_2$ , a principal fonte de emissão se dá através da queima de combustíveis fósseis, para o aquecimento e produção de energia. O  $\text{O}_3$  é considerado um poluente secundário, pois não é emitido diretamente na atmosfera. É formado a partir das reações dos poluentes primários através de uma série complexa de reações envolvendo compostos orgânicos voláteis e óxidos de nitrogênio, em presença de luz solar (CAMPOS et al., 2006). Este gás na estratosfera protege a terra contra a entrada dos raios ultravioletas, porém, quando se

forma na troposfera, é nocivo aos seres vivos e materiais (VIEIRA, 2012), podendo causar irritações nos olhos e vias respiratórias, edema pulmonar e sensação de falta de ar. Na vegetação, pode interferir no metabolismo dos vegetais, afetando a atividade enzimática (HEINEN; SILVA, 2019).

O presente trabalho tem como objetivo revisar e discutir os principais trabalhos publicados envolvendo a aplicação de amostradores passivos dos poluentes  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  e  $\text{O}_3$ , entre os anos de 2012 a 2022, no Estado do Rio Grande do Sul. Embora não exaustiva, a presente revisão pretende fornecer ao leitor um panorama completo com relação à metodologia empregada nesses estudos. Além disso, também se pretende auxiliar no direcionamento de futuras pesquisas acerca desse assunto, uma vez que é uma área ainda pouco explorada na região sul do Brasil.

Para a realização da presente revisão, os locais de busca foram: Google acadêmico, biblioteca digital brasileira de teses e dissertações (BDTD), Portal de Periódicos CAPES/MEC, ScienceDirect e SciELO. As buscas nesses sites foram voltadas para pesquisas realizadas no estado do Rio Grande do Sul - Brasil, conforme o objetivo da pesquisa. Foi buscado por trabalhos publicados envolvendo a aplicação de amostradores passivos dos poluentes  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  e  $\text{O}_3$ , entre os anos de 2012 a 2022, no Estado do Rio Grande do Sul (RS). O levantamento de dados ocorreu entre os dias 04/07/2020 a 10/07/2022. As palavras chaves utilizadas para as buscas foram (em português): Poluição do ar, amostrador passivo, amostragem passiva, monitoramento de poluição do ar. As palavras procuradas em inglês foram: *air pollution, air pollution monitoring e passive sampler*.

## 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O monitoramento de compostos gasosos do ar envolve a aplicação de dois tipos de abordagens: a ativa e a passiva. As técnicas ativas exigem alguns requisitos, como o uso de equipamentos que se baseiam em algum mecanismo de propulsão para coleta de amostras do ar (MELCHERT; CARDOSO, 2006). Nesses casos, muitos amostradores são caros e exigem pessoal capacitado para a operação. Considerando que os amostradores ativos normalmente utilizam bomba e controladores de fluxos, torna-se necessário o uso assim de energia elétrica para seu funcionamento, o que também torna a análise mais cara (MELCHERT; CARDOSO, 2006; BUCCO, 2010). Os amostradores passivos, ou difusos, são dispositivos capazes de fixar os compostos presentes na atmosfera por processos físicos conhecidos como difusão e permeação molecular (MELCHERT; CARDOSO, 2006; CAMPOS et al., 2006). São baseados na difusão passiva a partir do ar contendo gases poluentes para um meio absorvedor. A difusão é o transporte constante das moléculas no fluido, promovendo o equilíbrio dos meios que se encontravam em concentrações diferentes inicialmente (MELCHERT; CARDOSO, 2006). Já a permeação é a absorção do gás através do seu contato com os poros da superfície do material (MELCHERT; CARDOSO, 2006).

Segundo Cruz (2002), o amostrador passivo consiste de um material cilíndrico que conta com uma abertura para entrada de ar, e com uma substância fixadora capaz de reagir ou interagir com o gás de interesse (SOUZA et al., 2017). É no interior do material que ocorre a difusão do gás para a superfície de coleta, logo, é importante criar condições em que o ar permaneça em um estado estacionário nessa região (SOUZA et al., 2017).

Considerando as vantagens dos amostradores passivos, é importante destacar que são equipamentos baratos, de simples montagem, de operação fácil e de fácil transporte (Tabela 1). Além disso, apresentam ausência de ruído e é desnecessário calibração em campo. Também são econômicos, pois não envolvem gasto de energia elétrica, baterias ou pilhas (CRUZ; CAMPOS, 2002; MELCHERT; CARDOSO, 2006; CAMPOS et al., 2006). Outra característica vantajosa é permitir o monitoramento do ar em regiões mais afastadas do ambiente urbano. Por outro lado, apresentam algumas desvantagens. Por exemplo, as concentrações não são monitoradas de forma instantânea, não sendo possível identificar em qual período da amostragem ocorreram taxas altas ou baixas de concentração de poluentes (CRUZ; CAMPOS, 2002). Além disso, exigem análise posterior através de técnicas analíticas (Espectroscopia UV/visível, espectrometria de massa ou cromatografia gasosa ou líquida). Apesar dessas desvantagens, o uso de amostradores passivos é útil para investigação preliminar de regiões de potencial interesse de maior poluição atmosférica, servindo como um guia para futuras implementações de monitoramentos com equipamentos contínuos (PIENNAR et al., 2015).

<b>Tipo de mostrador</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
<b>Ativo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1- Dados amostrais instantâneos, principalmente para amostragens curtas (até uma hora)</li> <li>2- Dados confiáveis</li> <li>3- Permite a sistematização de banco de dados histórico.</li> <li>4- Pode ser utilizado mais de um método para coleta da amostra para análise.</li> <li>5- Permite obter valores de picos de concentração dos poluentes.</li> <li>6 - Adequado para análise de exposição crônica e aguda.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1- Instalação e manutenção de alto custo.</li> <li>2- Necessidade constante de energia elétrica.</li> <li>3- Necessidade de calibração contínua.</li> <li>4- Difícil acesso e manutenção em áreas remotas.</li> <li>5- Pode apresentar ruído.</li> <li>6- Necessita mão de obra especializada para operação.</li> <li>7- Perda de informação durante o período de tempo no qual o amostrador não está operacional.</li> <li>7 - Necessita cuidados extras de proteção e segurança</li> </ul>

<b>Passivo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1- Custo baixo para a produção.</li> <li>2-Fácil montagem e operação.</li> <li>3- Pequenos e leves.</li> <li>4- Dispensa calibração contínua em análises de campo.</li> <li>5- Fácil transporte.</li> <li>6- Ausência de ruído.</li> <li>7 - Permite o monitoramento em regiões mais afastadas dos centros urbanos.</li> <li>8 - Adequado para amostragem de longas durações.</li> <li>8 - Adequado para análise de exposição crônica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1- Instalação e manutenção de alto custo.</li> <li>2- Necessidade constante de energia elétrica.</li> <li>3- Necessidade de calibração contínua.</li> <li>4- Dificil acesso e manutenção em áreas remotas.</li> <li>5- Pode apresentar ruído.</li> <li>6- Necessita mão de obra especializada para operação.</li> <li>7- Perda de informação durante o período de tempo no qual o amostrador não está operacional.</li> <li>7 - Necessita cuidados extras de proteção e segurança</li> </ul>
----------------	--	---

Tabela 1. Vantagens e desvantagens dos amostradores passivos

Amostradores passivos são baseados na difusão laminar de um poluente e sua subsequente captura por absorção ou reação química com auxílio de uma solução absorvedora. Várias configurações geométricas de amostradores passivos podem ser fabricadas, sendo algumas delas disponíveis comercialmente, tais como as do tipo Ferm, do tipo Radiello e tubos de Gradko (PIENNAR et al., 2015). Independentemente do tamanho e do formato, todos os amostradores passivos exibem componentes físicos básicos comuns, sendo: i) Filtro impregnado com uma solução absorvedora (ou peneira molecular que adsorve um gás); ii) caminho difusivo que apresenta características como diâmetro e altura (PIENNAR et al., 2015).

A maioria dos amostradores passivos investigados nos trabalhos avaliados fazem uso dos chamados amostradores do tipo Ferm, ou alguma variação deste, conforme Figura 1. Este tipo de amostrador é composto por duas tampas de encaixe sob pressão em ambas as extremidades, sendo uma delas a entrada de ar. No topo do amostrador encontra-se o filtro impregnado com a solução absorvedora escolhida, visando a captação do gás poluente desejado. O corpo do amostrador possui uma altura  $h$ , sendo o percurso de difusão. Também é possível também observar a presença de uma tela de aço inox e uma membrana de teflon, localizada na entrada de ar, com o objetivo principal de minimizar a interferência de partículas e a difusão turbulenta, protegendo, portanto, a membrana de danos mecânicos.

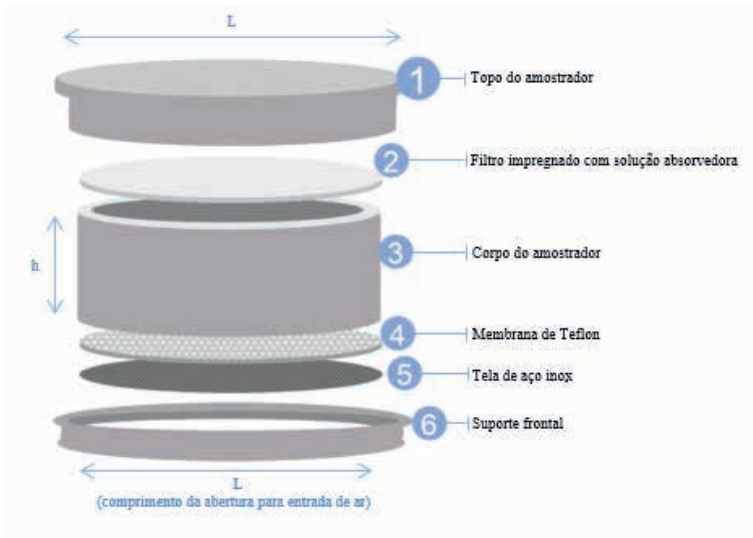


Figura 1. Esquema de amostrador passivo do tipo Ferm.

Fonte: Os autores.

Para realizar as análises, são necessárias duas categorias de soluções, uma absorvedora e outra reagente. A primeira consiste em reagir com a espécie inorgânica de interesse. Tipicamente, soluções básicas são usadas para absorver óxidos ácidos (como  $\text{SO}_2$  e  $\text{NO}_2$ ) e soluções absorvedoras ácidas são usadas para absorver gases alcalinos (como  $\text{NH}_3$ ). Após o período de exposição, o amostrador é levado para o laboratório para cálculos quantitativos do poluente absorvido. Nessa etapa, é necessário fazer uso da solução reagente para interagir com o composto da etapa anterior e/ou uso de técnicas analíticas.

Os amostradores passivos de ar têm seu funcionamento baseado no princípio da primeira Lei de Fick de difusão (PIENNAR et al., 2015). Esta lei fundamenta-se na teoria de transferência de massa, afirmando que o diferencial de distância entre dois pontos de análise favorecerá a existência de um gradiente de concentração. Sendo assim, ocorrerá o transporte dos gases poluentes de regiões de alta concentração para regiões de baixa concentração, de modo que o fluxo seja proporcional ao gradiente de concentração ao longo de um comprimento de percurso de difusão  $h$  (Figura 1). O fluxo de difusão do gás na direção do gradiente de concentração é dado pela Eq. 1.

$$J = -D \frac{dC}{dh} \quad (1)$$

Onde:

J - Fluxo de difusão do gás na direção do gradiente de concentração ( $\mu\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$ );

D - Coeficiente de difusão do gás ( $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$ );

C - Concentração do poluente ( $\mu\text{g m}^{-3}$ );

$h$  - Comprimento do percurso de difusão (m);

$\frac{dC}{dh}$  - Gradiente de concentração instantânea de poluente na direção do fluxo de ar.

O gradiente de concentração instantânea de poluente na direção do fluxo de ar pode ser calculado pela Eq. 2.

$$\frac{dM}{dt} = J \cdot A \quad (2)$$

Onde:

$M$  - quantidade de poluente presa no disco de papel corrigida para o branco ( $\mu\text{g}$ );

$T$  - tempo de amostragem (s);

$A$  - área transversal do caminho de difusão ( $\text{m}^2$ ).

Combinando as equações (1) e (2), obtém-se a Equação 3.

$$\frac{dM}{dt} = -A \cdot D \frac{dC}{dh} \quad (3)$$

Integrando e reorganizando a Eq. 3 é possível obter uma Eq. 4, que fornece a concentração externa ( $C$ , em  $\mu\text{g m}^{-3}$ ) do poluente.

$$C = \frac{M}{D \cdot t} \cdot \frac{h}{A} \quad (4)$$

No total foram encontrados apenas 05 trabalhos publicados de relevância para o objetivo deste trabalho. Uma das justificativas para isso é que ainda há poucos trabalhos desenvolvidos a respeito do monitoramento de poluentes gasosos por amostradores passivos de ar no estado do Rio Grande do Sul. Para todos os estudos, foram analisados os seguintes aspectos: Cidade, poluentes monitorados, período de amostragem, ciclos de exposição, número de locais amostrados, material de construção dos amostradores, soluções absorvedoras, soluções reagentes, filtros, fatores meteorológicos e principais resultados comentados pelos autores. A Figura 2 mostra a localização geográfica dos amostradores passivos nas 04 cidades (Lajeado, Passo Fundo, Santa Maria e Erechim) em que foram encontrados dados bibliográficos de estudos publicados.

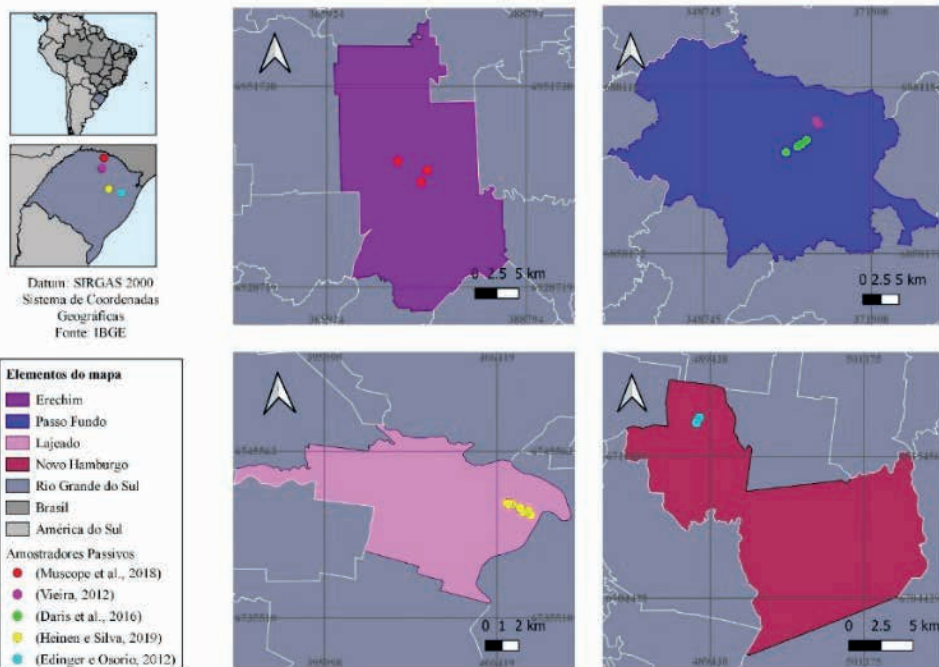


Figura 2. Localização geográfica dos amostradores passivos nas 04 cidades em que foram encontrados dados bibliográficos de estudos publicados.

Fonte: Os autores

Conforme observado na Tabela 2, a maioria das pesquisas desenvolvidas no campo dos amostradores passivos de ar no Estado do Rio Grande do Sul foram na cidade de Passo Fundo (VIEIRA, 2012; DARIS et al., 2016), totalizando dois trabalhos. As demais cidades foram Lajeado (HEINE; Silva, 2019), Novo Hamburgo (EDINGER; OSORIO, 2012) e Erechim (MUSCOPE et al., 2018).

Referência	Heinen e Silva, 2019	Vieira, 2012	Edinger e Osório, 2012	Daris et al., 2016	Muscope et al., 2018
<b>Cidade</b>	Lajeado	Passo Fundo	Novo Hamburgo	Passo Fundo	Erechim
<b>Poluentes Monitorados</b>	NO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> e O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub> e O <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub> e O <sub>3</sub>
<b>Período de Amostragem</b>	12 meses	4 meses	12 meses	12 meses	10 meses
<b>Ciclo de Exposição</b>	7 a 8 dias	5 dias	30 a 45 dias	5 dias	5 dias
<b>Nº locais amostrados</b>	8	5	3	6	3



Material de Construção	Policloreto de vinila (PVC)	Policloreto de vinila (PVC)	Polietileno de alta densidade (PEAD)	Policloreto de vinila (PVC)	Policloreto de vinila (PVC)
Soluções Absorvedoras	<p><b>Absorvedora NO<sub>2</sub>:</b> 0,9 g de iodeto de sódio + 0,1 g de carbonato de sódio + 20 mL de água destilada.</p> <p><b>Absorvedora O<sub>3</sub>:</b> 1 g de amido + 0,2 g de carbonato de potássio + 2 g de iodeto de potássio + 20 mL de água destilada</p>	<p><b>Absorvedora NO<sub>2</sub>:</b> KI 5,0 x 10<sup>-1</sup> mol L<sup>-1</sup> + KOH 2,0 x 10<sup>-1</sup> mol L<sup>-1</sup> em metanol.</p> <p><b>Absorvedora SO<sub>2</sub>:</b> Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 1,0 x 10<sup>-2</sup> mol L<sup>-1</sup> em água.</p> <p><b>Absorvedora O<sub>3</sub>:</b> 5,0 g de amido em 20 mL de água destilada em 50 mL de água destilada em fervura, fervendo por cinco minutos. Descanso da solução por 24h e dissolução de 1,0 g de carbonato de potássio e após 10,0 g de iodeto de potássio, diluindo-se para 100 mL.</p>	<p><b>Absorvedora:</b> 1 mL de carbonato de potássio 30%, deixado em estufa por 24 horas a 60 °C.</p>	<p><b>Absorvedora NO<sub>2</sub>:</b> 8,3 g de KI + 1,12 g de KOH, dissolvidos em 100 mL de metanol.</p> <p><b>Absorvedora O<sub>3</sub>:</b> 5,0 g de amido amassado em 20 mL de água destilada e despejado em 50 mL de água destilada em fervura, fervendo por cinco minutos.</p>	<p><b>Absorvedora NO<sub>2</sub>:</b> 8,3 g de KI + 1,12 f de KOH, dissolvidos em 100 mL de metanol.</p> <p><b>Absorvedora O<sub>3</sub>:</b> 5,0 g de amido em 20 mL de água destilada e despejado em 50 mL de água destilada em fervura, fervendo por cinco minutos. Após espera de 24h, foi dissolvido 1,0 g de carbonato de potássio e após 10,0 g de iodeto de potássio, diluindo-se para 100 mL.</p>
	Soluções reagentes	<p><b>Reagente NO<sub>2</sub>:</b> 1 g sulfanilamida + 1,84 mL de ácido fosfórico + 0,01 g NEDA + 200 mL de água destilada.</p> <p><b>Reagente O<sub>3</sub>:</b> 2,25 g de iodeto de potássio + 225 mL de água destilada</p>	<p><b>Reagente NO<sub>2</sub>:</b> 5,0 g de sulfanilamida dissolvida em aproximadamente 800 ml de água destilada contendo 9,2 mL de ácido fosfórico (85%). Após dissolução, adiciona-se 0,05 g de NEDA (N-(1-naftil-etilenodiamina) e dilui-se para 1L.</p> <p><b>Reagentes SO<sub>2</sub>:</b> Solução de ácido clorídrico 6 mol.L<sup>-1</sup> contendo 20 mg L<sup>-1</sup> de S: prepara-se dissolvendo 497,5 mL de HCl p.a em aproximadamente 300 mL de água e, na sequência, dissolve-se 108,9 mg de K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.</p> <p><b>Reagente O<sub>3</sub>:</b> 10,0 g de iodeto de potássio dissolvido em 500 ml de água destilada</p>	<p><b>Reagente:</b> Concentrações conhecidas de sulfato de 0,0; 0,1; 0,3; 0,6; 0,9 mgSO<sub>4</sub>.L<sup>-1</sup></p>	<p><b>Reagente NO<sub>2</sub>:</b> 5,0 g de sulfanilamida dissolvida em aproximadamente 800 ml de água destilada contendo 9,2 mL de ácido fosfórico (85%). Após dissolução, adicionou-se 0,05 g de NEDA (N-(1-naftil-etilenodiamina) e diluiu-se para 1L.</p> <p><b>Reagente O<sub>3</sub>:</b> Dissolvido 10 g de iodeto de potássio em aproximadamente 500 ml de água destilada e 1L.</p>

<b>Filtro</b>	<b>NO<sub>2</sub></b> : Filtro de celulose da marca Quanty – JP40, com poros de em média 25 µm. <b>O<sub>3</sub></b> : Filtro de fibra de vidro GF-3 da marca Macherey-Nagel, com poros de em média 0,6 µm.	<b>NO<sub>2</sub></b> : Filtro de celulose (Whatman 40) <b>SO<sub>2</sub></b> : Filtro de celulose (Whatman 40) <b>O<sub>3</sub></b> : Filtro de papel de fibra de vidro (GF 50/A)	Filtro de Fibra de vidro	<b>NO<sub>2</sub></b> : Filtro de Celulose (whatman 40) <b>O<sub>3</sub></b> : Filtro de papel de fibra de vidro (GF 50/A)	<b>NO<sub>2</sub></b> : Filtro de Celulose (Whatman 40) <b>O<sub>3</sub></b> : Filtro de papel de fibra de vidro (GF 50/A)
<b>Principais Resultados</b>	<b>Concentração de NO<sub>2</sub> (µg/m³)</b> : 0,4 a 13,5 <b>Concentração de O<sub>3</sub> (µg/m³)</b> : 2,6 a 28,9	<b>Concentração de NO<sub>2</sub> (µg/m³)</b> : 0,11 a 3,10 <b>Concentração de SO<sub>2</sub> (µg/m³)</b> : 20,60 a 1306,09 <b>Concentração de O<sub>3</sub> (µg/m³)</b> : 0,66 a 4,80	<b>Taxa de Sulfatação (µgSO<sub>3</sub> dm<sup>2</sup>. dia<sup>-1</sup>)</b> : 0,016 a 0,031	<b>Concentração de NO<sub>2</sub> (µg/m³)</b> : 0,18 a 11,27 <b>Concentração de O<sub>3</sub> (µg/m³)</b> : 0,37 A 20,80	<b>Concentração de NO<sub>2</sub> (µg/m³)</b> : 0 a 10 <b>Concentração de O<sub>3</sub> (µg/m³)</b> : 5 a 20

Tabela 2. Principais informações dos trabalhos encontrados na revisão bibliográfica envolvendo uso de amostradores passivos no estado do Rio Grande do Sul

No que diz respeito ao monitoramento de poluentes atmosféricos, os gases O<sub>3</sub> e NO<sub>2</sub> (VIEIRA, 2012; HEINEN; SILVA, 2019; MUSCOPE et al., 2018) se destacam na metodologia da maioria dos artigos. A avaliação dos gases SO<sub>2</sub> (VIEIRA, 2012) e SO<sub>3</sub> (EDINGER; OSÓRIO, 2012) foram constatados apenas uma vez e em trabalhos diferentes. O NO e, especificamente o NO<sub>2</sub>, são os principais poluentes gerados por fontes automotivas e industriais, sendo também um agente oxidante que ao reagir com a luz solar e oxigênio atmosférico forma O<sub>3</sub> (BRAGA et al., 2001).

O SO<sub>2</sub> e SO<sub>3</sub> também são poluentes de fontes de carvão e petróleo, entretanto dependendo da presença de luz, temperatura e umidade esses óxidos tendem a permanecer por pouco tempo na atmosfera antes de se transformarem ou, em outros casos, são dispersados a longas distâncias se concentrando em uma área bem maior (BRAGA et al., 2001). Logo, essa justificativa pode estar associada ao fato de não ocorrer tantos estudos sobre o monitoramento destes gases ou também devemos destacar a possibilidade de técnicas de adsorção desses poluentes ainda não estudadas.

Em geral, dentre os trabalhos publicados a maioria optou por um período de amostragem de aproximadamente 12 meses (EDINGER; OSÓRIO, 2012; DARIS et al., 2016; HEINEN; SILVA, 2019) enquanto apenas dois trabalhos desenvolveram suas metodologias em um período de amostragem menor. MUSCOPE et al. (2018) estabeleceu um período de 10 meses e VIEIRA (2012) utilizou um período muito menor de 3 a 4 meses de amostragem. Vale ressaltar que um período mais extenso, como por exemplo 12 meses de amostragem, permite uma melhor visualização da concentração de poluentes ao longo do ano, sendo possível analisar os meses de menor ou maior emissão atmosférica pelas fontes poluidoras,

levando em consideração diversos aspectos como área espacial antropizada, presença de automóveis, gerador de energia elétrica, aspectos meteorológicos, entre outros.

O ciclo de exposição dos amostradores passivos nos locais selecionados variaram entre até 5 dias (VIEIRA, 2012; DARIS et al., 2016; MUSCOPE et al., 2018), de 5 a 8 dias (HEINEN; SILVA, 2019) e de 30 a 45 dias (EDINGER; OSÓRIO, 2012). Conforme Porfirio (2008) o tempo de exposição é um limitante dessa técnica de monitoramento de ar, pois as informações referentes às concentrações de poluentes estão fortemente associadas ao tempo de coleta e as influências ocorridas naquele determinado período exposto às condições do ambiente.

A escolha de pontos estratégicos para colocação dos equipamentos é de suma importância, pois deve-se considerar locais em que há principalmente fontes de emissões atmosféricas como as já citadas anteriormente. Dessa forma, conforme os locais amostrados, percebe-se que as metodologias para escolha dos pontos foram bem distintas. Edinger e Osório (2012) e Muscope et al. (2018) apresentaram uma diversidade de locais amostrados, como: O telhado de um prédio próximo ao laboratório de Tecnologia Vegetal da Feevale, a estação de tratamento de efluentes da Feevale, um estacionamento (EDINGER; OSÓRIO, 2012), Avenida Maurício de Cardoso, Distrito Industrial e BR-153 da cidade de Erechim (MUSCOPE et al., 2018). Heinen e Silva (2019) amostraram oito locais com intensa circulação de pessoas e veículos dentro das localidades da Universidade do Vale do Taquari (Univates).

Daris et al. (2016) amostraram seis locais sujeitos a intenso tráfego de veículos no intuito de uma possível avaliação dos impactos e níveis de concentração aos quais as pessoas estavam expostas e Vieira (2012) cinco locais distintos (próximo a saída de gases do gerador de energia elétrica, na entrada do estacionamento universidade, nas proximidades das piscinas térmicas, na saída de uma capela de exaustão de um laboratório um local considerado de baixa poluição)

Em relação aos materiais construção utilizados, na maioria dos amostradores passivos de ar construídos foram utilizados cilindros de Polietileno (PVC) (VIEIRA, 2012; DARIS et al., 2016; MUSCOPE et al., 2018; HEINEN; SILVA, 2019) enquanto apenas Edinger e Osório (2012) utilizaram o Polietileno de Alta Densidade (PEAD). A distinção entre os materiais pode estar associada as despesas e facilidade de construção, pois o PVC é um material de baixo custo, flexível, de fácil construção e desmonte se comparado ao PEAD que utiliza solda a quente (LODI, 2003).

Com relação às amostras absorvedoras de  $\text{NO}_2$ , observou-se nos trabalhos de Muscope et al. (2018), Daris et al. (2016) e Vieira (2012) foram utilizadas soluções e concentrações similares de soluções (KI e KOH), além de serem preparadas em metanol. Por sua vez, o estudo de Heinen e Silva (2019) fez uso do  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ao invés de KOH, e NaI ao invés de KI. Além disso, a solução foi preparada em água destilada ao invés de metanol.

Como solução absorvedora para o  $\text{SO}_2$  (VIEIRA, 2012) e  $\text{SO}_3$  (EDINGER; OSÓRIO,

2017), utilizou-se uma solução de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  em água e uma solução de  $\text{K}_2\text{CO}_3$  30%, previamente deixada em estufa por 24 horas a 60 °C, respectivamente. O gás  $\text{O}_3$  foi, conforme já discutido, um dos gases mais frequentemente analisados. Em todos os casos, os autores (HEINEN; SILVA, 2019; VIEIRA, 2012; DAIS et al., 2016; MUSCOPE et al., 2018) usaram uma solução de amido (normalmente preparado em fervura) em conjunto com soluções de KI e  $\text{K}_2\text{CO}_3$ , variando, dentre os trabalhos, as concentrações escolhidas no preparo dessas soluções.

No que diz respeito ao uso das soluções reagentes empregados para análise de  $\text{NO}_2$  e  $\text{O}_3$ , nota-se que os autores (VIEIRA, 2012; DARIS et al., 2016; MUSCOPE et al., 2018; HEINEN; SILVA, 2019) usaram soluções similares, variando apenas as concentrações. Para análise de  $\text{NO}_2$ , tem-se usado uma solução aquosa de sulfanilamida adicionando EDTA e ácido fosfórico. Para análise de  $\text{O}_3$ , foi utilizado uma solução aquosa de KI. A solução reagente utilizada para a análise do  $\text{SO}_2$  (Vieira, 2012) foi conduzida com uma mistura de HCl com  $\text{K}_2\text{SO}_4$ . A análise de  $\text{SO}_3$  (EDINGER; OSÓRIO, 2012) foi realizada com ajuda de uma curva de calibração com concentrações conhecidas de padrão de sulfato.

Com relação aos filtros utilizados nos trabalhos, notou-se que nos estudos de Muscope et al. (2018), Daris et al. (2016), e Vieira (2012), foram utilizados os filtros de celulose e fibra de vidro para a análises dos gases  $\text{O}_3$  e  $\text{NO}_2$ . Heinen e Silva (2019) utilizou para a análise do  $\text{SO}_2$  filtro à base o de celulose e para a análise do  $\text{SO}_3$  utilizou-se fibra de vidro. Em nenhuma das pesquisas foi explicado o motivo da diferença de filtros utilizados na análise dos gases. Porém os baseados em vidro apresentam fibras mais finas e por esse motivo podem ser arranjadas mais perto uma das outras para produzir poros menores o que ocasiona um aumento na capacidade de retenção de contaminante, assim como a eficiência da filtração.

Importante destacar que a similaridade de algumas soluções absorvedoras, soluções reagentes e filtros utilizados para a análise de deve-se, muito provavelmente, ao fato de se basearem na metodologia empregada na pesquisa de Bucco (2010) e Griess-Saltzman (1954). Nesse sentido, observa-se que essas metodologias são as mais aceitas e utilizadas entre os pesquisadores analisados.

Nos estudos de Denise (2016), Hein e Silva (2019), Muscope et. Al (2018) e Viera (2012), os gases  $\text{NO}_2$  e  $\text{O}_3$  estão dentro dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA vigente na época que os estudos foram realizados (CONAMA 003/90). Importante observar que no estudo de Vieira (2012), os resultados indicaram que a metodologia empregada para a análise da concentração de poluente no filtro talvez não tenha sido a mais adequada. Sendo assim sugere para trabalhos futuros o método de análise do  $\text{SO}_2$  deve ser modificado, utilizando-se idealmente metodologia baseada na cromatografia gasosa.

No estudo de Vieira (2012), percebe-se uma brusca diminuição na concentração máxima encontrada. É interessante comparar esse resultado com os dados obtidos por Daris et al. (2016), realizada na mesma cidade, pois a Universidade de Passo Fundo localiza-se

em uma região afastada do centro da cidade, onde o trânsito veicular é consideravelmente inferior se comparado aos outros pontos monitorados, o que acarreta uma significativa diminuição nas emissões de  $\text{NO}_2$  e COVs que são um dos meios responsáveis pela sua alta formação na atmosfera. No entanto, a concentração mínima nos trabalhos de Daris et al. (2016), e Vieira (2012), foram próximas.

Na análise de  $\text{NO}_2$ , é possível constatar que os trabalhos de Muscope et al. (2018), Daris et al. (2016), Vieira (2012) e Heinen e Silva (2019) apresentaram uma similaridade nas concentrações mínimas do gás. Com relação à concentração máxima do gás  $\text{NO}_2$  encontrado, observa-se valores próximos nos trabalhos dos autores de Muscope et al. (2018), Daris et al. (2016) e Heinen e Silva (2019). Segundo a resolução CONAMA N° 491/2018, os valores das concentrações dos gases encontrados estão dentro dos limites estabelecidos por lei. Por outro lado, constatou-se no estudo de Vieira (2012), que o método de análise para o  $\text{SO}_2$  utilizado não foi adequado, pois nenhuma afirmação foi condizente nos meses de monitoramento.

De maneira geral, nos estudos conduzidos por Heinen e Silva (2019), Vieira (2012), Daris et al. (2016), verificou-se que a concentração dos gases foi maior no período onde houve menos precipitação e nos amostradores localizados próximos às fontes de poluição. Exemplos dessas fontes incluem: Áreas industriais, locais próximos ao fluxo e congestionamento de veículos e locais próximos a geradores de energia. No estudo de Muscope et al. (2018), verificou um aumento da concentração dos gases após um período de tempo no mesmo local, relacionado ao ano anterior.

### 3 | CONCLUSÕES

Os amostradores passivos demonstraram ser uma alternativa viável para o monitoramento atmosférico, pois além da fácil manipulação, seu custo acaba sendo barateado por não precisar diretamente de energia elétrica para seu funcionamento, podendo ser implantados sem dificuldades geográficas e fornecendo resultados satisfatórios e confiáveis. Diante do exposto, os amostradores passivos são uma alternativa viável para o monitoramento da qualidade do ar por parte dos estados e municípios.

Tendo em vista que muitos municípios do estado do Rio Grande do Sul não possuem muitos dados a respeito da qualidade do ar, observa-se que há uma demanda para obtenção dessas informações. Nesse sentido, o uso de amostragem passiva pode servir no auxílio de preencher essa lacuna.

### REFERÊNCIAS

BRAGA, A.; PEREIRA, L. A. A.; BÖHM, G. M.; SALDIVA, P. Poluição atmosférica e saúde humana. *Revista USP*, v. 51, p. 58-71, 2001.

BUCCO, Magali. **Construção e testes de validação de amostradores passivos para dióxido de nitrogênio e ozônio**. 2010. 114f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente Urbano e Industrial) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

CAMPOS, V. P.; CRUZ, L. P. S.; ALVES, E. M.; SANTOS, T. DE. S.; SILVA, A. D.; SANTOS, A. C. C. DOS.; LIMAS, A. M. V.; PAIXÃO, C. S.; SANTOS, C. M. B.; BRANDÃO, D. S.; ANDRADE, E. J. S.; JUNIOR, J. I. M.; CONCEIÇÃO, K. C. S.; RAMOS, M. DE. S.; PONTES, M. C. G.; AMARAL, M. F. DO.; MATTOS, R. R. 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 prática de Química Ambiental para alunos de graduação. **Química Nova**, v.29, p.872-875, 2006.

CRUZ, L. P. S.; CAMPOS, V. P. Amostragem passiva de poluentes atmosféricos. Aplicação ao SO<sub>2</sub>. **Química Nova**, v.25, p.406-411, 2002.

DARIS, D.; BRANDLI, L. L.; KORF, E. P.; ROSA, F. D. Contribuição do tráfego urbano na qualidade do ar em cidade brasileira de porte médio. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica**, v.9, p.16-27, 2016.

EDINGER, L. R.; OSORIO, D. M. M. Avaliação da qualidade do ar da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos através de amostradores passivos, RS. In: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 3, 2012, Goiânia. Anais.

HEINEN, C. J.; SILVA, M. C. DE. A. Avaliação dos níveis de dióxido de nitrogênio e ozônio na Universidade do Vale do Taquari (Univates) utilizando amostradores passivos de baixo custo. **Scientia cum Industria**, v.7, p.32-43, 2019.

LODI, P. C. **Aspectos de degradação de geomembranas poliméricas de polietileno de alta densidade (PEAD) e de poli (cloreto de vinila) (PVC)**. 2003. 354f. Tese (Doutor em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Paulo.

MELCHERT, W. R.; CARDOSO, A. A. Construção de amostrador passivo de baixo custo para determinação de dióxido de nitrogênio. **Química Nova**, v.29, p.365-367, 2006.

MUSCOPE, F.; REIS, J. B.; LEVANDOSKI, W. K.; PRESTES, E.; KORF, E. P. Monitoramento e controle da poluição atmosférica na cidade de Erechim - RS. In: Jornada de Iniciação Científica e Tecnológica, 8, 2018, Erechim, Anais.

PIENNAR, J. J.; BEUKES, J. P.; ZYL, P. G. V.; LEHMANN, C. M. B.; AHERNE, J. Comprehensive Analytical Chemistry. In: Forbes, P. B. C. **Passive Diffusion Sampling Devices for Monitoring Ambient Air Concentrations**, Amsterdam: Elsevier, 2015, p.13-52.

PORFIRIO, M. **Proposta metodológica para o monitoramento de gases poluentes derivados de veículos automotores em centros urbanos**. 2008. 133f. Dissertação (Mestrado em Transportes Urbanos) - Faculdade de tecnologia, UnB, Distrito Federal.

SOUZA, P. A. F.; FRANCISCO, K. C. A.; CARDOSO, A. A. Desenvolvimento de amostrador passivo sensível para monitoramento de poluição atmosférica por dióxido de nitrogênio. **Química Nova**, v.40, p.1233-1237, 2017.

VIERA, L. C. **Uso de amostradores passivos para o monitoramento do ar**. 2012. 62f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Ambiental) - Faculdade de Engenharia e Arquitetura, UPF, Passo Fundo.

WHO. **Evolution of WHO air guidelines**: past, present and future. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, p.32, 2007.