



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA

RENNAN NORONHA DE FRANCA

**Desenvolvimento de um amostrador de Partículas Totais em
Suspensão (PTS) e determinação elementar por ICP OES**

ITAPETINGA – BA
NOVEMBRO DE 2023

RENNAN NORONHA DE FRANCA

**Desenvolvimento de um amostrador de Partículas Totais em
Suspensão (PTS) e determinação elementar por ICP OES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Química da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Química.

Área de concentração: Química

Orientador: Prof. Dr. Danilo Junqueira Leão

**ITAPETINGA – BA
NOVEMBRO DE 2023**

F881d Franca, Rennan Noronha.

Desenvolvimento de um amostrador de Partículas Totais em Suspensão (PTS) e determinação elementar por ICP OES / Rennan Noronha Franca.- Itapetinga, 2023.

62f.

(Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Química da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - UESB, sob orientação do Prof. Dr. Danilo Junqueira Leão)

1.Poluição atmosférica 2.Material particulado 3.Extração ácida
4.Metais potencialmente tóxicos 5.Espectrometria I.Universidade
Estadual do Sudoeste da Bahia II.Título

CDD – 540

TERMO DE APROVAÇÃO

RENNAN NORONHA DE FRANCA

“Desenvolvimento de um amostrador de Partículas Totais em Suspensão (PTS) e determinação elementar por ICP OES”.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Química da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Química.

COMISSÃO EXAMINADORA



Prof. Dr. Danilo Junqueira Leão
(UFBA, Salvador – BA, 2019)
(Orientador)



Prof. Dr. Raildo Mota de Jesus
(UFBA, Salvador – BA, 2010)



Prof. Dr. Cleber Galvão Novaes
(UFBA, Salvador – BA, 2011)

Dissertação aprovada pelo Colegiado do Curso de Pós-graduação em Química em 27 / 11 / 2023

À minha esposa, Cleia T. S. de Franca
À minha mãe, Aldeir Pereira Noronha
Ao meu irmão, Murilo Noronha Cunha

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, professor Dr. Danilo Junqueira Leão, pela dedicação, confiança e amizade. Vou levar para a vida todos os conselhos e conversas que tivemos, você não atuou apenas como orientador, foi além, atuou como um grande amigo e em alguns momentos atuou como um pai, meus sinceros agradecimentos.

À minha esposa, Cleia Teixeira Santos de Franca, por todo amor, carinho e apoio nessa jornada, minha vitória é nossa vitória, amo você.

À minha família, em especial a minha mãe e meu irmão, que sempre me incentivaram e me apoiaram com palavras positivas e confortáveis.

À minha segunda família, em especial Aelson e Ana Célia, por todo o apoio, confiança e momentos felizes.

Aos meus amigos, Micael, Ana Carolina, Matheus Colli, Rafael, Widervan, José Guilherme e Jabson, por todo apoio e momentos felizes.

Aos meus colegas da UESB, Breno, Willian, Noemi, Matheus Moura, Lorena, Meury, Luis Filipe, Tâmara, Vinícius, Beatriz e Gabriela, pelos momentos de descontração e conversas.

Aos professores, em especial Alexilda e Mateus, pelo apoio, incentivo, carinho e momentos de confraternização.

Ao professor Dr. Rennan Geovanny Oliveira Araujo da Universidade Federal da Bahia, que contribuiu muito para o desenvolvimento desta pesquisa, muito obrigado.

Aos membros da banca examinadora, por aceitarem de prontidão o convite e pelas suas contribuições para esta pesquisa.

Ao corpo docente do PGQUI, pela contribuição em minha formação acadêmica e científica.

À secretária do PGQUI, Leiliane, pela proatividade e disposição em resolver as demandas do corpo docente.

À Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, em especial aos funcionários da UESB, cujo trabalho é imprescindível para o funcionamento da universidade.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia – FAPESB, pela bolsa concedida.

Você deve aproveitar os pequenos desvios da vida, ao máximo. Porque é onde encontrará coisas mais importantes do que aquilo que realmente deseja.

Yoshihiro Togashi

Desenvolvimento de um amostrador de Partículas Totais em Suspensão (PTS) e determinação elementar por ICP OES

Autor: Rennan Noronha de Franca

Orientador: Prof. Dr. Danilo Junqueira Leão

RESUMO: As Partículas Totais em Suspensão (PTS) são partículas microscópicas que estão dispersas no ar, elas variam em tamanho e composição química. As PTS são classificadas como poluentes atmosféricos e dependendo da sua concentração ou composição, podem causar danos à saúde humana e ao meio ambiente. Diante disso, o objetivo deste trabalho envolve o desenvolvimento de um amostrador de PTS para determinar a concentração desse poluente e avaliar sua composição química. O amostrador de PTS foi desenvolvido usando uma bomba de sucção de ar e materiais alternativos. Esse equipamento foi empregado na coleta de PTS em cinco pontos de amostragem localizados no município de Itapetinga. O amostrador operou a uma vazão de $16,7 \text{ L min}^{-1}$ por um período de 48 horas e as amostras de PTS foram coletadas em filtros de fibra de vidro. A massa de PTS foi determinada por análise gravimétrica. Considerando o volume de ar amostrado, a concentração de PTS variou entre 16,63 e $41,37 \mu\text{g m}^{-3}$, esses valores não excedem o limite máximo permitido pela legislação brasileira. Para análise elementar, as amostras foram submetidas a um processo de extração com HNO_3 , HCl e H_2O_2 em bloco digestor a 180°C por 2 horas. A determinação da concentração de As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, S, Sb, Sr, V e Zn nas amostras foi realizada por ICP OES. A exatidão do método foi confirmada usando dois materiais de referência certificados (BCR-176R e NIST1648a). A determinação elementar das amostras coletadas revelou que a concentração de arsênio está acima dos padrões estabelecidos pela União Europeia, visto que, a legislação brasileira não estabeleceu uma concentração máxima para esse elemento no ar ambiente. Para os demais elementos, as concentrações determinadas não excederam os limites máximos das legislações estudadas neste trabalho.

Palavras-chave: Poluição atmosférica, Material particulado, Extração ácida, Metais potencialmente tóxicos, Espectrometria.

Development of a Total Suspended Particles (TSP) sampler and elemental determination by ICP OES

Author: Rennan Noronha de Franca

Advisor: Prof. Dr. Danilo Junqueira Leão

ABSTRACT: Total Suspended Particles (TSP) are microscopic particles that are dispersed in the air, they vary in size and chemical composition. TSP are classified as atmospheric pollutants and depending on their concentration or composition, they can cause harm to human health and the environment. Therefore, the objective of this study involves the development of a TSP sampler to determine the concentration of this pollutant and evaluate its chemical composition. The TSP sampler was developed using an air suction pump and alternative materials. This equipment was used to collect TSP at five sampling points located in the municipality of Itapetinga. The sampler operated at a flow rate of 16.7 L min^{-1} for a period of 48 hours and TSP samples were collected on glass fiber filters. The mass of TSP was determined by gravimetric analysis. Considering the volume of air sampled, the TSP concentration varied between 16.63 and $41.37 \mu\text{g m}^{-3}$, these values do not exceed the maximum limit allowed by Brazilian legislation. For elemental analysis, the samples were subjected to an extraction process with HNO_3 , HCl and H_2O_2 in a digester block at 180°C for 2 hours. The determination of the concentration of As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, S, Sb, Sr, V and Zn in the samples was carried out by ICP OES. The accuracy of the method was confirmed using two certified reference materials (BCR-176R and NIST1648a). The elementary determination of the collected samples revealed that the arsenic concentration is above the standards established by the European Union, since Brazilian legislation does not establish a maximum concentration for this element in ambient air. For the other elements, the concentrations determined did not exceed the maximum limits established in the legislation studied in this work.

Keywords: Atmospheric pollution, Particulate matter, Acid extraction, Potentially toxic metals, Spectrometry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estação de monitoramento da qualidade do ar localizada no Rio Grande do Sul.....	16
Figura 2. Comparação do diâmetro do MP em relação a um grão de areia e um fio de cabelo.....	18
Figura 3. Amostrador de alto volume HiVol 3000.....	20
Figura 4. Relação entre a concentração de elementos essenciais e o desempenho no organismo.....	24
Figura 5. Esquema básico do funcionamento da EDXRF.....	26
Figura 6. Esquema do funcionamento de um ICP OES.....	29
Figura 7. Amostrador de Partículas Totais em Suspensão desenvolvido neste trabalho.	33
Figura 8. Imagem via satélite do município de Itapetinga.....	34
Figura 9. Imagem via satélite com as localizações dos pontos de amostragem em Itapetinga.....	35
Figura 10. Partículas Totais em Suspensão coletadas no filtro de fibra de vidro.....	35
Figura 11. Bloco digestor TE-007MP.	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Padrões estabelecidos pela OMS, CONAMA, EPA e EU para partículas em suspensão e metais potencialmente tóxicos.	23
Tabela 2. Estudos recentes que usaram ICP OES para determinar metais potencialmente tóxicos em amostras de Material Particulado e Partículas Totais em Suspensão.	30
Tabela 3. Dados das curvas de calibração obtidas neste trabalho.	38
Tabela 4. Concentração de Partículas Totais em Suspensão nos cinco pontos de amostragem.	41
Tabela 5. Concentrações de PTS em estudos realizados em outras regiões do mundo.	42
Tabela 6. Limites de detecção e quantificação para o método aplicado.	43
Tabela 7. Exatidão e precisão do método por BCR-176R e NIST1648a.....	44
Tabela 8. Concentração elementar das amostras de PTS.....	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAS	Espectrometria de Absorção Atômica (<i>Atomic Absorption Spectrometry</i>)
AES	Espectrometria de Emissão Atômica (<i>Atomic Fluorescence Spectrometry</i>)
AFS	Espectrometria de Fluorescência Atômica (<i>Atomic Emission Spectrometry</i>)
CEN	Comité Europeu de Normalização (<i>European Committee for Standardization</i>)
CEN	Amostra do Centro do Município
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COVs	Compostos Orgânicos Voláteis
CPU	Unidade Central de Processamento (<i>Central Processing Unit</i>)
CTR	Amostra de Controle
CVAAS	Espectrometria de Absorção Atômica com Geração de Vapor Frio (<i>Cold Vapor Generation Atomic Absorption Spectrometry</i>)
EDXRF	Fluorescência de Raios X por Dispersão de Energia (<i>Energy Dispersive X-Ray Fluorescence</i>)
EPA	Agência de Proteção Ambiental (<i>Environmental Protection Agency</i>)
EUA	Estados Unidos da América
FAAS	Espectrometria de Absorção Atômica com Chama (<i>Flame Atomic Absorption Spectrometry</i>)

GFAAS	(Espectrometria de Absorção Atômica em Forno de Grafite (<i>Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometry</i>)
High-Vol	Amostrador de Alto Volume (<i>High Volume Air Sampler</i>)
HPAs	Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos
IARC	Agência Internacional de Pesquisa sobre o Câncer (<i>International Agency for Research on Cancer</i>)
ICP MS	Espectrometria de Massas com Plasma Indutivamente Acoplado (<i>Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry</i>)
ICP OES	Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado (<i>Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry</i>)
IoT	Internet das Coisas (<i>Internet of Things</i>)
INAA	Análise Instrumental de Ativação de Nêutrons (<i>Instrumental Neutron Activation Analysis</i>)
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
IRMM	Instituto de Materiais de Referência e Medições (<i>Institute for Reference Materials and Measurements</i>)
LD	Limite de Detecção
Low-Vol	Amostrador de Baixo Volume (<i>Low Volume Air Sampler</i>)
LQ	Limite de Quantificação
MDF	Placa de Fibra de Média Densidade (<i>Medium Density Fiberboard</i>)
Medium-Vol	Amostrador de Médio Volume (<i>Medium Volume Air Sampler</i>)
MP	Material Particulado
MP ₁₀	Material Particulado com diâmetro entre 2,5 e 10 µm
MP _{2,5}	Material Particulado com diâmetro igual ou menor a 2,5 µm
MS	Espectrometria de Massas (<i>Mass Spectrometry</i>)

NIST	Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia (<i>National Institute of Standards e Technology</i>)
NOV	Amostra da Nova Itapetinga
OMS	Organização Mundial da Saúde
PTC	Amostra do Ponto Certo
PESA	Análise de Dispersão Elástica de Prótons (<i>Proton Elastic Scattering Analysis</i>)
PIXE	Emissão de Raios X Induzida por Partícula (<i>Particle Induced X-Ray Emission</i>)
PPL	Amostra do Parque Poliesportivo da Lagoa
PTFE	Politetrafluoroetileno
PTS	Partículas Totais em Suspensão
PVC	Policloreto de Vinila
RF	Radiofrequência (<i>Radio Frequency</i>)
RLAM	Refinaria Landulpho Alves
SR XRF	Fluorescência de Raios X por Radiação Síncrotron (<i>X-ray Fluorescence by Synchrotron Radiation</i>)
TNT	Tecido Não Tecido
TXRF	Fluorescência de Raios X por Reflexão Total (<i>Total Reflection X-ray Fluorescence</i>)
UE	União Europeia
XRF	Fluorescência de Raios X (<i>X-Ray Fluorescence</i>)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	14
2.1 Objetivo geral	14
2.2 Objetivos específicos	14
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1 Poluição atmosférica	15
3.2 Material particulado e partículas totais em suspensão	18
3.3 Padrões de qualidade do ar	22
3.4 Metais potencialmente tóxicos	23
3.5 Determinação de metais em partículas totais em suspensão.....	25
3.6 Espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP OES)	28
4 MATERIAIS E MÉTODOS	33
4.1 Desenvolvimento do amostrador de PTS	33
4.2 Área de estudo e amostragem	34
4.3 Determinação da concentração de PTS.....	36
4.4 Preparo das amostras	36
4.5 Determinação elementar por ICP OES.....	37
4.6 Limites de detecção e quantificação.....	39
4.7 Exatidão e precisão.....	39
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	41
5.1 Concentração de PTS	41
5.2 Limites de detecção e quantificação.....	43
5.3 Exatidão e precisão.....	44
5.4 Determinação elementar por ICP OES.....	46
6 CONCLUSÃO	49
REFERÊNCIAS	50

1 INTRODUÇÃO

A poluição da atmosfera é causada pela emissão de substâncias nocivas à saúde humana e o meio ambiente. Antigamente, essa poluição era causada por fontes naturais, como a queima espontânea de florestas e erupções vulcânicas. Atualmente, a poluição por fontes naturais não possui significância expressiva quando comparada as fontes antropogênicas, como agricultura, indústria, queima de combustíveis fósseis, mineração etc. Os principais poluentes atmosféricos analisados em pesquisas científicas incluem compostos orgânicos voláteis (COVs), hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) e material particulado (MP) [1–4].

O material particulado (MP) é constituído por uma mistura complexa de partículas sólidas e líquidas, que apresentam variações em sua composição química, tamanho e forma. O MP é classificado de acordo com o diâmetro aerodinâmico das partículas, aquelas com diâmetro menor que 2,5 μm (MP_{2,5}) são denominadas partículas finas ou respiráveis, enquanto as partículas com diâmetro entre 2,5 e 10 μm (MP₁₀) são chamadas de partículas grossas ou inaláveis. As Partículas Totais em Suspensão (PTS) expressam o conjunto total de partículas suspensas na atmosfera, ou seja, as partículas não são segregadas por tamanho. As principais fontes de emissão de partículas atmosféricas incluem a incineração de lixo, atividades industriais, combustão de carvão e as emissões veiculares. A composição do MP e das PTS geralmente apresenta carbono elementar, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, compostos orgânicos voláteis, sulfatos, nitratos e metais potencialmente tóxicos [5–7].

Os metais potencialmente tóxicos são frequentemente denominados de metais pesados na literatura, embora nem todos os metais pesados sejam realmente tóxicos, como o ouro, por exemplo. Alguns metais só causam problemas ambientais e biológicos se apresentarem concentrações acima de certos limites, como é o caso do ferro e do zinco. No entanto, existem metais que apresentam elevada toxicidade mesmo em baixas concentrações, por exemplo, arsênio, mercúrio e chumbo. Assim como outros poluentes, os metais potencialmente tóxicos são emitidos principalmente por atividades antropogênicas. Os metais não podem ser degradados e possuem a propriedade de bioacumulação e biomagnificação. O nível de toxicidade depende de fatores como propriedades físico-químicas, estado de oxidação, concentração e papel biológico [8].

As técnicas analíticas mais utilizadas para a determinação de metais em partículas atmosféricas são a Fluorescência de Raios X por Dispersão de Energia (EDXRF), Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP OES) e a Espectrometria de Massas com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-MS) [9].

Com a intenção de garantir a saúde e o bem-estar da sociedade, são estabelecidos os padrões de qualidade do ar, que determinam a concentração máxima de poluentes a qual um indivíduo pode ser exposto por determinado tempo. No Brasil, os padrões de qualidade do ar são estabelecidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). No ano de 1990, o órgão publicou a resolução N.º 03/1990, que estabeleceu padrões para alguns poluentes. Com base em estudos recentes sobre os poluentes atmosféricos e seus efeitos, as normas estabelecidas foram redefinidas no ano de 2018 por meio da resolução N.º 491/2018. O CONAMA atualizou os padrões de qualidade do ar com base nas diretrizes recomendadas pela Organização Mundial da Saúde (OMS) em 2005. Dentre as atualizações realizadas, vale destacar a inclusão da concentração máxima de $0,5 \mu\text{g m}^{-3}$ chumbo no ar [10].

Existem estações de monitoramento da qualidade do ar espalhadas pelo mundo que obtêm dados sobre a concentração de poluentes no local onde estão instaladas, no entanto, essas estações se restringem aos entornos dos grandes centros urbanos, desse modo, o monitoramento da qualidade do ar em várias outras regiões é negligenciado [11,12].

Diante do exposto, esta pesquisa apresenta uma revisão bibliográfica sobre poluição atmosférica relacionada a MP e PTS, abordando as fontes de emissão, impactos na saúde humana e no meio ambiente, as legislações relacionadas e os principais métodos de monitoramento e análise da composição química dessas espécies. Além disso, esta pesquisa tem como objetivo principal o desenvolvimento de um amostrador de PTS para avaliar a concentração desse poluente em municípios do sudoeste baiano e posteriormente analisar a concentração de metais potencialmente tóxicos nessa matriz.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Desenvolver um amostrador de baixo custo para coleta de Partículas Totais em Suspensão (PTS) e determinar a concentração de metais potencialmente tóxicos empregando a Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado.

2.2 Objetivos específicos

Desenvolver um amostrador de PTS a partir de materiais alternativos, visando o baixo custo e o cumprimento das exigências mínimas relatadas na literatura.

Determinar a concentração de PTS em amostras coletadas no município de Itapetinga, localidade onde não há registro de monitoramento da qualidade do ar.

Determinar a concentração de metais potencialmente tóxicos presentes nas amostras de PTS coletadas.

Contribuir com informações ambientais relevantes sobre a qualidade do ar no município de Itapetinga.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Poluição atmosférica

A poluição do ar está relacionada com a presença de poluentes na atmosfera, essas substâncias geram impactos negativos na saúde humana e no meio ambiente. Os principais poluentes lançados na atmosfera são o monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), ozônio (O₃), óxidos de enxofre e nitrogênio (SO_x e NO_x), metano (CH₄), compostos orgânicos voláteis (COVs), hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) e material particulado (MP). A emissão desses compostos altera drasticamente o equilíbrio da atmosfera, resultando em danos à saúde humana, mudanças climáticas e graves problemas ambientais [1–3].

As fontes de poluição atmosférica podem ser classificadas em naturais ou antropogênicas. As principais emissões por fontes naturais são provenientes de atividades vulcânicas, incêndios florestais espontâneos e evaporação da água do mar. Atualmente, as fontes antropogênicas são as principais responsáveis pela emissão de poluentes atmosféricos, em razão das intensas atividades humanas como a queima de combustíveis fósseis, mineração, processos industriais, construção civil, agricultura e pecuária [2,4].

A exposição prolongada do ser humano a poluição atmosférica pode provocar alergias, tosse, irritação da garganta, dores de cabeça, tonturas, pneumonia, enfisema pulmonar, doenças cardiovasculares e câncer. Além disso, essa exposição pode agravar quadros pré-existentes de asma e bronquite. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), somente em 2019, a poluição atmosférica causou a morte prematura de 4,2 milhões de pessoas. Os efeitos da poluição atmosférica na saúde humana variam dependendo da concentração de poluentes, duração da exposição e vulnerabilidade do indivíduo [2,13].

A presença de dióxido de enxofre (SO₂) e óxidos de nitrogênio (NO_x) na atmosfera contribui para a formação da chuva ácida, esse fenômeno pode causar a acidificação do solo e dos corpos d'água. O dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄) e o óxido nitroso (NO₂) são gases de efeito estufa que contribuem para o aquecimento global e causam mudanças climáticas. Além da poluição do ar externo, a qualidade do ar em ambientes internos também é uma preocupação, visto que, geralmente passamos a maior parte do tempo em espaços fechados. Diante disso, o

monitoramento da poluição atmosférica torna-se imprescindível para avaliar a qualidade do ar, identificar as fontes de poluição e desenvolver estratégias para o controle da emissão desses poluentes [2,14,15].

O monitoramento da poluição atmosférica envolve a coleta de dados em várias regiões do mundo, principalmente nos grandes centros urbanos. O monitoramento das concentrações de poluentes atmosféricos fornece dados que permitem avaliar a qualidade do ar. As agências governamentais, instituições de pesquisa e organizações ambientais desempenham um papel fundamental no monitoramento da poluição atmosférica. Os dados coletados são usados para implementar medidas regulatórias e estabelecer ou ajustar padrões de qualidade do ar [11,12].

A avaliação da qualidade do ar geralmente é realizada em estações de monitoramento localizadas nos grandes centros urbanos (Figura 1), sendo assim, dados sobre a qualidade do ar em localidades distantes dos grandes centros urbanos são escassos. Além de estações de monitoramento, a avaliação da qualidade do ar pode ser realizada por meio de satélites, modelagem computacional, sensores, dispositivos pessoais e coleta de partículas em suspensão para análise laboratorial [12,14].

Figura 1. Estação de monitoramento da qualidade do ar localizada no Rio Grande do Sul.



Fonte: Correio do Povo [16].

No Estado da Bahia, o monitoramento da qualidade do ar é conduzido por duas redes privadas. A rede de monitoramento da Petrobrás opera com 4 estações fixas localizadas nas proximidades da Refinaria Landulpho Alves (RLAM) em São Francisco

do Conde, que atualmente é propriedade da *Mubadala Investment Company* e foi rebatizada como Refinaria de Mataripe. A outra rede de monitoramento pertence a Cetrel, que conta com 18 estações fixas e uma móvel, sendo que, 10 estações fixas estão localizadas no Polo Industrial de Camaçari e as estações restantes estão distribuídas na cidade de Salvador [17].

Rocha *et al.* (2023) mediram a concentração de SO₂, O₃, NO₂, NO_x e NH₃ em Belo Horizonte, Londrina, Rio de Janeiro, Salvador e São Paulo. A coleta dessas substâncias foi realizada por amostragem passiva e os filtros impregnados com os poluentes foram submetidos a um processo de extração em banho ultrassônico sem aquecimento. Técnicas cromatográficas e a espectrofotometria de absorção molecular UV-Vis foram utilizadas para determinar a concentração dessas espécies. O SO₂ foi o único poluente que apresentou concentrações médias acima do padrão estabelecido pela resolução CONAMA N° 491/2018. As concentrações de O₃ não excederam o limite estabelecido pelo CONAMA, que é 140 µg m⁻³, no entanto, em uma das campanhas de amostragem foi observado uma concentração de 139 µg m⁻³. As concentrações de NO₂ em algumas campanhas excederam o padrão recomendado pela OMS. A determinação da concentração de outros poluentes nesse estudo revelou que muitos deles excederam os padrões estabelecidos por outras agências ambientais [10,18,19].

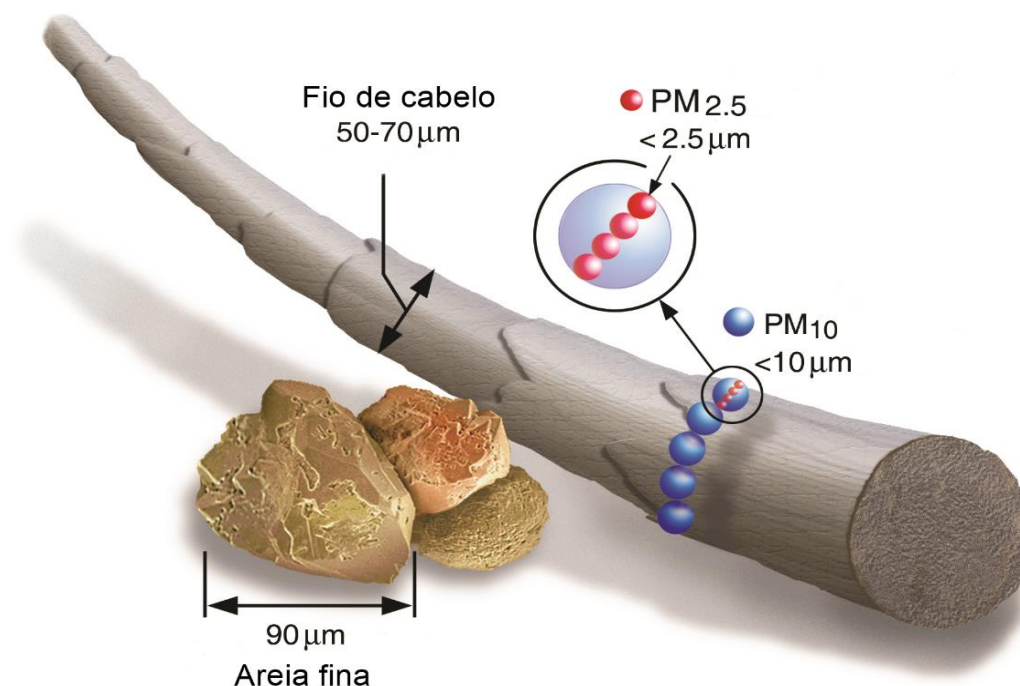
Segundo a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), no ano de 2022, as concentrações de CO não excederam o padrão estabelecido. O SO₂ apresentou médias anuais baixas, no entanto, o padrão diário foi excedido nove vezes na cidade de Cubatão. O padrão de NO₂ foi excedido algumas vezes na região metropolitana do estado, esse poluente merece atenção pois além de danos à saúde, ele tem participação no processo de formação de oxidantes fotoquímicos. O ozônio excedeu o padrão várias vezes, tanto na região metropolitana quanto no interior/litoral e o material particulado apresentou concentrações elevadas em algumas localidades do estado [20].

Reduzir as emissões de poluentes atmosféricos é essencial para proteger a saúde humana, preservar o meio ambiente e conter as mudanças climáticas. Para isso é necessário estabelecer ou ajustar regulamentações, promover o uso de tecnologias mais limpas, incentivar o uso de fontes de energia sustentáveis e conscientizar a sociedade sobre os riscos associados à poluição atmosférica.

3.2 Material particulado e partículas totais em suspensão

O material particulado (MP) é constituído de uma mistura complexa de partículas sólidas e líquidas. Essas partículas ficam suspensas na atmosfera e apresentam variações na sua composição química, tamanho e forma. O MP pode ser classificado de acordo com o diâmetro aerodinâmico das partículas, aquelas com diâmetro entre 2,5 e 10 μm (MP_{10}) são denominadas partículas grossas ou inaláveis, enquanto as partículas com diâmetro menor que 2,5 μm ($\text{MP}_{2,5}$) são denominadas partículas finas ou respiráveis (Figura 2). Os termos “inaláveis” e “respiráveis” estão relacionados com o local de deposição do MP, sendo que a maioria das partículas inaláveis fica depositada na boca, nariz ou traqueia, enquanto as partículas respiráveis podem chegar até os alvéolos pulmonares [5–7].

Figura 2. Comparação do diâmetro do MP em relação a um grão de areia e um fio de cabelo.



Fonte: Adaptado de [21].

As Partículas Totais em Suspensão (PTS) expressam o total de partículas suspensas na atmosfera. O tempo de permanência das PTS na atmosfera está relacionado ao tamanho das partículas, sendo que, partículas grossas sedimentam mais rápido e partículas finas podem permanecer suspensas por longos períodos. Além disso, condições meteorológicas como velocidade e direção do vento,

temperatura, umidade relativa e precipitação influenciam diretamente no transporte, dispersão e deposição das partículas atmosféricas. As principais fontes de emissão das PTS estão relacionadas a atividades industriais, construção civil, metalurgia, incêndios florestais, processos de combustão, emissões veiculares e a ressuspensão de poeira [22,23].

A composição das PTS está relacionada com as fontes de emissão e as condições climáticas locais. Em áreas urbanas, as PTS podem apresentar quantidades maiores de partículas provenientes de emissões veiculares e ressuspensão de poeira da estrada, no entanto, em regiões rurais, a composição das PTS pode apresentar uma quantidade maior de partículas orgânicas, como pólen e esporos. Os principais compostos químicos determinados nas PTS são os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, sulfatos, nitratos, amônia, compostos orgânicos voláteis e metais potencialmente tóxicos [24–26].

O efeito das PTS na saúde humana depende de fatores como concentração, composição química, duração da exposição e tamanho médio das partículas. Os estudos sobre a composição das PTS são essenciais para detectar substâncias potencialmente tóxicas aos seres humanos, visto que, essas partículas podem percorrer o sistema respiratório e serem depositadas nos alvéolos pulmonares e na corrente sanguínea, ocasionando o agravamento de quadros como bronquite e asma ou causando o desenvolvimento de doenças cardiovasculares e pulmonares. De acordo com as diretrizes da IARC (Agência Internacional de Pesquisa sobre o Câncer), as partículas atmosféricas finas estão classificadas no grupo 1 de materiais potencialmente carcinogênicos para os seres humanos [6,26,27].

Luong *et al.* (2017) avaliaram os efeitos que o MP pode exercer na saúde de crianças com idade entre 0 e 5 anos em Hanói, Vietnã. Os autores relacionaram os dados sobre internações diárias do Hospital Nacional de Pediatria do Vietnã com os registros diários das concentrações de MP de uma estação de monitoramento local. Os dados obtidos revelaram que a elevação da concentração de MP causava um aumento na quantidade de internações por doenças respiratórias [28].

Nascimento *et al.* (2017) avaliaram a correlação entre a concentração de MP e a quantidade de atendimentos ambulatoriais causados por doenças respiratórias em crianças. O estudo foi realizado na Região Metropolitana da Grande Vitória, Espírito

Santo. A contagem diária de atendimentos ambulatoriais e internações por doenças respiratórias em crianças foram obtidas em três hospitais locais. A concentração de MP foi determinada pelos próprios autores em seis localidades da região estudada. Segundo os autores, um incremento de $4,2 \mu\text{g m}^{-3}$ na concentração de MP elevou o risco de atendimento e internação em cerca de 3,8 e 5,6%, respectivamente [29].

O monitoramento de MP ou PTS pode ser realizado por meio de tecnologias modernas, como sensores e IoT (Internet das Coisas), ou a partir de um equipamento que seja capaz de coletar as partículas para posterior análise laboratorial (Figura 3). Os equipamentos usados para coletar partículas atmosféricas são conhecidos como amostradores ativos, eles são classificados em amostradores de alto volume (*High-Vol*), médio volume (*Medium-Vol*) e baixo volume (*Low-Vol*), que diferem apenas na taxa de fluxo de ar que pode ser amostrado [22,26].

Figura 3. Amostrador de alto volume HiVol 3000.



Fonte: Kenelec Scientific [30].

O princípio básico de funcionamento dos amostradores ativos envolve o uso de uma bomba de sucção capaz de criar uma diferença de pressão que faz o ar ambiente ser aspirado de forma controlada e constante através do sistema de amostragem. Um rotâmetro pode ser usado para medir e controlar a vazão de ar. Filtros de fibra de vidro, quartzo ou politetrafluoretileno (PTFE) são usados para reter as partículas atmosféricas [26].

A taxa de fluxo de ar e a duração da amostragem podem variar de acordo com o equipamento e as normas técnicas indicadas pelo órgão responsável. Para amostradores ativos de alto volume, cada amostragem é realizada por um período mínimo de 24h com uma vazão de $1,1 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$. A massa das partículas coletadas é determinada por análise gravimétrica [26]. Com base no fluxo de ar, tempo de amostragem e massa do material particulado é possível determinar a concentração das partículas em suspensão de acordo com a equação 1:

$$\text{Concentração de partículas} = \frac{\text{Massa}}{\text{Vazão} \times \text{Tempo}} \quad (1)$$

Pozza *et al.* (2023) realizaram amostragens de $\text{MP}_{2,5}$, MP_{10} e PTS usando amostradores de alto volume em cinco cidades brasileiras: Catalão, Limeira, Camboriú, Novo Hamburgo e Florianópolis. O equipamento operou com vazão de $1,13 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$ por um período de 24 horas e as partículas foram coletadas em filtros de fibra de vidro. As concentrações de $\text{MP}_{2,5}$, MP_{10} e PTS não excederam os padrões estabelecidos pelo CONAMA, no entanto, os dados obtidos na cidade de Limeira revelaram que a concentração MP_{10} está acima do recomendado pela OMS [10,19,31].

Costa *et al.* (2019) coletaram amostras de MP_{10} e PTS na cidade de Aracaju usando um amostrador de alto volume operando a uma vazão de $1,1 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$ por um período de 24 horas. As amostras foram coletadas em filtros de fibra de vidro e as concentrações variaram entre $22,4$ e $149 \mu\text{g m}^{-3}$ para PTS e entre $17,3$ e $39,6 \mu\text{g m}^{-3}$ para MP_{10} , esses valores não excedem o limite máximo estabelecido pela legislação brasileira [32].

Carvalho *et al.* (2023) avaliaram as fontes de emissão de MP_{10} na cidade de São Carlos, para isso, as amostras foram coletadas em filtros de fibra de vidro usando um amostrador de alto volume operando a uma vazão de $1,13 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$ durante um período de 24 horas. As concentrações de MP_{10} variaram entre $4,68$ e $54,8 \mu\text{g m}^{-3}$, esses valores não excedem o padrão estabelecido pelo CONAMA, no entanto, algumas amostragens apresentam valores acima do recomendado pela OMS. Segundo os autores, um estudo anterior na mesma cidade revelou uma tendência de maior concentração de MP_{10} em períodos de seca, que pode estar relacionada com a queima de biomassa e o baixo índice de precipitação nessa estação do ano [10,19,33].

3.3 Padrões de qualidade do ar

Os padrões de qualidade do ar envolvem os limites máximos para a concentração de poluentes atmosféricos. Os poluentes mundialmente usados como indicadores da qualidade do ar são o SO₂, NO_x, CO, O₃, hidrocarbonetos e material particulado, em razão da frequência de emissão e seus efeitos na saúde humana e meio ambiente. Os padrões de qualidade do ar podem variar de um país para outro, entretanto, todos os países buscam seguir os padrões recomendados pela OMS. Os padrões variam de acordo com a duração da exposição, o período de um ano é considerado como longa exposição e o período de 24 horas é considerado uma curta exposição. Os padrões de qualidade do ar são revisados periodicamente com base em pesquisas científicas recentes e as preocupações emergentes com a saúde pública e o meio ambiente [19,34].

No Brasil, os padrões de qualidade do ar são estabelecidos pelo CONAMA. Através da resolução N.º 03, de 28 de junho de 1990, foram estabelecidos padrões para a concentração de partículas totais em suspensão (PTS), partículas inaláveis, fumaça, SO₂, CO, O₃ e NO₂. Diante de estudos recentes sobre a poluição atmosférica e as novas recomendações da OMS, o CONAMA decretou a resolução N.º 491, de 19 de novembro de 2018, que revoga a resolução N.º 03, de 28 de junho de 1990 e faz uma revisão nos padrões de qualidade do ar. Com essa nova resolução foram estabelecidos padrões para a concentração de material particulado (MP₁₀ e MP_{2,5}), PTS, SO₂, NO₂, O₃, CO e Pb [10].

A EPA (Agência de Proteção Ambiental) é uma agência federal dos Estados Unidos encarregada dos assuntos ambientais do país. Essa agência foi criada em 1970 por causa da crescente preocupação com a poluição ambiental e seus impactos negativos na saúde pública e meio ambiente. A EPA é responsável por estabelecer regulamentações e fazer o monitoramento do ar, água e solo dos Estados Unidos. Diante disso, os padrões estabelecidos pela EPA são usados como referência para outros países [35].

Os padrões de qualidade do ar da União Europeia (UE) foram estabelecidos pelo Parlamento Europeu em 2008. Os padrões da UE abrangem mais poluentes do que as diretrizes observadas em outras agências, com destaque para a concentração máxima de As, Cd, Ni e Pb, que são metais potencialmente tóxicos (Tabela 1) [36].

Tabela 1. Padrões estabelecidos pela OMS, CONAMA, EPA e EU para partículas em suspensão e metais potencialmente tóxicos.

Poluente	Período	OMS ($\mu\text{g m}^{-3}$)	CONAMA ($\mu\text{g m}^{-3}$)	EPA ($\mu\text{g m}^{-3}$)	UE ($\mu\text{g m}^{-3}$)
MP _{2,5}	Anual	5	20	-	25
	24 h	15	60	35	50
MP ₁₀	Anual	15	40	-	40
	24 h	45	120	150	
PTS	Anual	-	80	-	-
	24 h	-	240	-	-
Pb	Anual	-	0,5	0,15 ^(a)	0,5
As	Anual	-	-	-	6 ^(b)
Cd	Anual	-	-	-	5 ^(b)
Ni	Anual	-	-	-	20 ^(b)

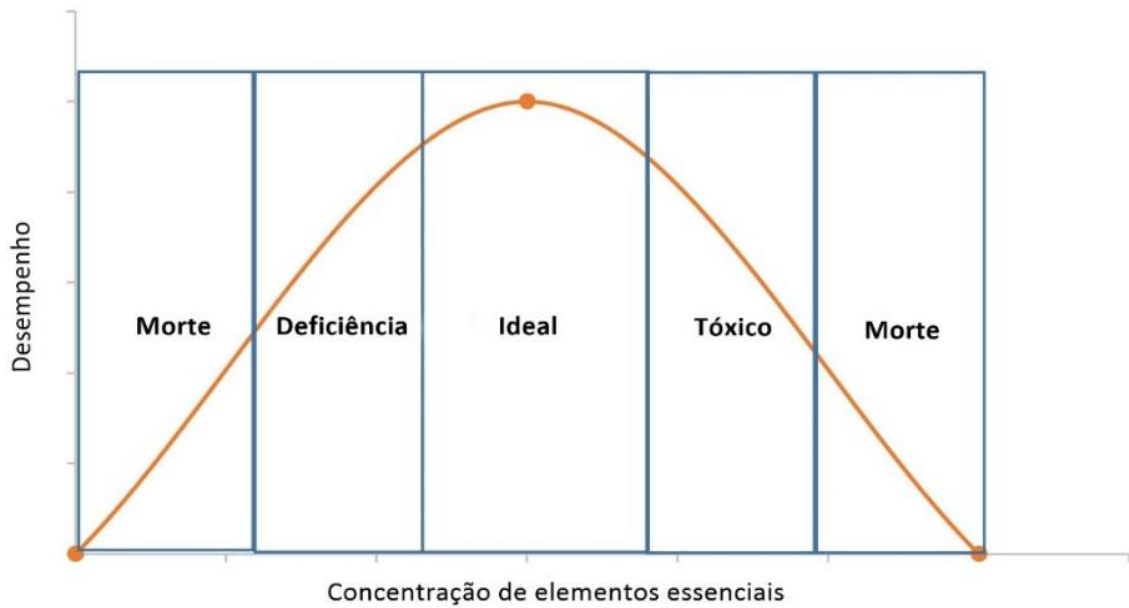
(a) Média trimestral

(b) ng m^{-3}

3.4 Metais potencialmente tóxicos

Os metais que atuam como micronutrientes essenciais para os seres humanos são chamados de minerais ou oligoelementos. Eles desempenham papéis importantes em várias funções do organismo, por exemplo, o zinco atua no fortalecimento do sistema imunológico, na regulação hormonal e na regeneração de tecidos, o ferro é essencial para a produção de hemoglobina e o selênio é um componente da enzima glutathione peroxidase (responsável por neutralizar radicais livres). Apesar de serem nutrientes essenciais, o excesso desses minerais gera intoxicação nos seres humanos (Figura 4), podendo causar doenças como a hemocromatose e selenose [8].

Figura 4. Relação entre a concentração de elementos essenciais e o desempenho no organismo.



Fonte: Adaptado de [8].

Alguns metais não apresentam importância biológica e são tóxicos mesmo em concentrações baixas, por exemplo, chumbo e mercúrio. A intoxicação por chumbo pode levar a uma doença conhecida como plumbismo, essa doença pode causar sensação de gosto metálico, declínio cognitivo e infertilidade masculina em indivíduos adultos [37]. A doença de Minamata é uma doença neurológica causada pela intoxicação por mercúrio, os sintomas incluem ataxia, dormência nas mãos e pés, fraqueza muscular geral e danos na fala, audição e visão. Essa doença foi descoberta pela primeira vez em 1956 na cidade de Minamata, província de Kumamoto, Japão. A cidade foi vítima de um surto da doença por causa da liberação de metilmercúrio na Baía de Minamata por uma fábrica de produtos químicos [38,39].

As principais fontes de emissão de metais potencialmente tóxicos são a mineração, metalurgia, emissões veiculares, queima de combustíveis fósseis, construção civil e o descarte inadequado de efluentes e resíduos sólidos. Os seres humanos podem absorver esses metais através da ingestão de água e alimentos contaminados, inalação de material particulado ou contato direto com a pele. Os metais potencialmente tóxicos são contaminantes estáveis e persistentes, uma vez que não podem ser degradados. Além disso, possuem a capacidade de bioacumulação e biomagnificação nos ecossistemas [8].

Diversas técnicas analíticas são usadas para determinação de metais, as mais utilizadas envolvem a Espectrometria de Absorção Atômica (AAS), Espectrometria de Fluorescência Atômica (AFS), Espectrometria de Emissão Atômica (AES), Espectrometria de Massas (MS) e a Fluorescência de Raios X (XRF) [40,41].

3.5 Determinação de metais em partículas totais em suspensão

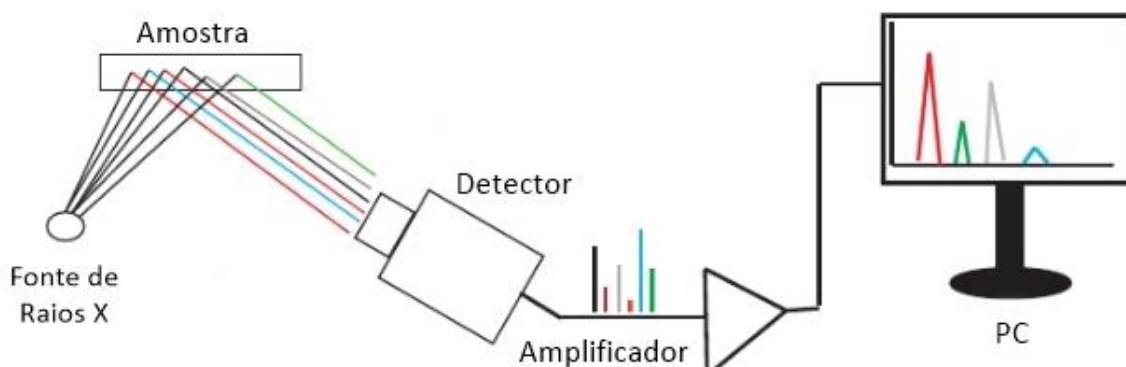
Conforme discutido anteriormente, as PTS possuem uma composição química complexa e variada. Diante disso, os estudos sobre a composição das PTS são essenciais para avaliar a presença de poluentes. A maioria desses estudos visam a determinação de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs), compostos orgânicos voláteis (COVs) e metais potencialmente tóxicos.

Galvão *et al.* (2018) fizeram uma revisão crítica sobre as tendências de técnicas analíticas aplicadas a caracterização de material particulado (MP). Segundo os autores, as técnicas analíticas mais citadas na literatura para determinação de elementos em material particulado são ICP-MS (Espectrometria de Massas por Plasma Indutivamente Acoplado), ICP OES (Espectrometria de Emissão Ótica com Plasma Indutivamente Acoplado), EDXRF (Fluorescência de Raios X por Dispersão de Energia), PIXE (Emissão de Raios X Induzida por Partícula), FAAS (Espectrometria de Absorção Atômica com Chama), INAA (Análise Instrumental de Ativação de Nêutrons), GFAAS (Espectrometria de Absorção Atômica em Forno de Grafite), TXRF (Fluorescência de Raios X por Reflexão Total), CVAAS (Espectrometria de Absorção Atômica com Geração de Vapor Frio), PESA (Análise de Dispersão Elástica de Prótons) e SR XRF (Fluorescência de Raios X por Radiação Síncrotron), em ordem da mais citada para a menos citada. Essas técnicas são classificadas em destrutivas ou não destrutivas [9].

A EDXRF é um exemplo de técnica analítica não destrutiva, ou seja, a amostra permanecerá inalterada após o processo de análise. A EDXRF usa raios X direcionados que interagem com os átomos da amostra, causando excitação de seus elétrons, quando retornam a estados de menor energia, os elétrons liberam energia na forma de raios X fluorescentes que são medidos por um detector (Figura 5). Esses raios X fluorescentes são específicos para cada elemento presente na amostra e a intensidade dos raios X é proporcional a concentração do elemento. A técnica de

EDXRF não requer uma preparação complexa da amostra, isso reduz os riscos de contaminação [9,42].

Figura 5. Esquema básico do funcionamento da EDXRF.



Fonte: Adaptado de [43].

Shaltout *et al.* (2018) usaram a EDXRF para analisar a concentração de 18 elementos em amostras de MP_{2,5} coletadas em áreas industriais e residenciais da cidade de Cairo, Egito. Os elementos determinados foram Al, Br, Ca, Cl, Cu, Fe, K, Mn, Na, Ni, Pb, Rb, S, Si, Sr, Ti, V e Zn. As amostras coletadas em zonas industriais apresentaram uma concentração consideravelmente superior para a maioria dos elementos. Os autores relataram que a concentração de níquel determinada em todas as amostras variou entre 24 e 26 ng m⁻³, esses valores excedem o padrão da União Europeia de 20 ng m⁻³ [36,44].

As técnicas destrutivas são usadas quando a quantidade de amostra é abundante e a sua destruição não é um problema. O procedimento mais usado para o preparo da amostra em técnicas destrutivas é a decomposição ácida da amostra por meio de ácido nítrico (HNO₃), ácido clorídrico (HCl), ácido fluorídrico (HF) e peróxido de hidrogênio (H₂O₂) em combinação com aquecimento em bloco digestor ou microondas. A Espectrometria de Massas com Plasma Indutivamente Acoplado é um exemplo de técnica analítica destrutiva, ou seja, requer uma alteração irreversível da amostra para análise [9,42].

No ICP-MS, as amostras líquidas são nebulizadas pelo sistema de introdução de amostra, o aerossol formado é transferido para o plasma de argônio e a alta

temperatura do plasma (10.000 K) atomiza e ioniza a amostra gerando íons que logo são direcionados para o analisador de massa quadrupolo, esse analisador separa os íons de acordo com a relação massa-carga [40,41].

As principais vantagens do ICP-MS envolvem a determinação multielementar sequencial rápida, determinação de isótopos, baixo consumo da amostra e baixíssimos limites de detecção (ng L^{-1}). As limitações incluem interferências espectrais e isobáricas, quantidade de sólidos dissolvidos e questões financeiras, como o elevado custo de aquisição e manutenção do equipamento e a necessidade de usar gases de alta pureza [40,41]. Os estudos envolvendo ICP-MS representam 60% das publicações na área de espectrometria atômica voltada para a análise elementar de MP e PTS [9].

Almeida *et al.* (2017) analisaram a composição de PTS coletadas na cidade de Aracaju, Sergipe. As amostras foram coletadas em filtros de fibra de vidro por um amostrador de alto volume operando com vazão de $1 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$ por um período de 24 horas. A concentração de Cu, Fe, Mn, Ni e V nas amostras foi determinada por ICP-MS. As concentrações dos elementos analisados não excederam os padrões estudados, no entanto, foram observadas concentrações de níquel em torno de $15,96 \text{ ng m}^{-3}$, esse valor está muito próximo do limite recomendado pela União Europeia, cerca de 20 ng m^{-3} . Os autores também relataram concentrações elevadas de Cu e atribuíram a emissões veiculares [36,45].

Os recentes avanços na área de espectroscopia estão sendo aplicados para determinação elementar em partículas atmosféricas, um exemplo disso são as técnicas *online*, que são capazes de medir a composição do MP ou das PTS em tempo real por meio de equipamentos de Fluorescência de Raios X. Esses equipamentos podem determinar 24 elementos simultaneamente, no entanto, os limites de detecção desse método dificultam sua utilização prática [42].

O Comitê Europeu de Normalização (CEN) publicou em 2005 um método padrão para determinação de Pb, Cd, As e Ni em MP_{10} . O método envolve a coleta de MP_{10} usando um amostrador de alto volume ou um amostrador de baixo volume, as partículas são coletadas em filtros de quartzo ou celulose em um período de 24 horas. As amostras coletadas são submetidas a decomposição assistida por microondas usando HNO_3 e H_2O_2 e a determinação elementar pode ser realizada em ICP-MS ou

GF AAS. Embora esse método seja padronizado para As, Cd, Ni e Pb, ele pode ser usado para determinar outros elementos. O CEN chegou a avaliar a técnica de EDXRF para determinação desses elementos em MP₁₀, mas o método não foi selecionado porque os limites de detecção não atendiam à legislação europeia [42].

A EPA estabeleceu dois métodos de referência para a determinação de Pb em partículas atmosféricas. O primeiro método envolve a determinação de Pb em PTS usando ICP-MS. O segundo método envolve a determinação de Pb em MP₁₀ usando a EDXRF. A coleta de PTS ou MP₁₀ pode ser realizada por amostradores de alto volume e baixo volume empregando filtros de quartzo, fibra de vidro ou PTFE por 24 horas. Para a determinação em ICP-MS, o Pb deve ser extraído em banho ultrassônico aquecido usando HNO₃ e HCl ou por decomposição em bloco digestor usando apenas HNO₃. Para a determinação de Pb em MP₁₀ por EDXRF a amostra não precisa de tratamento, ela é analisada diretamente no instrumento. Esses métodos são padronizados apenas para Pb, mas podem ser aplicados para determinação de outros elementos [42].

3.6 Espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP OES)

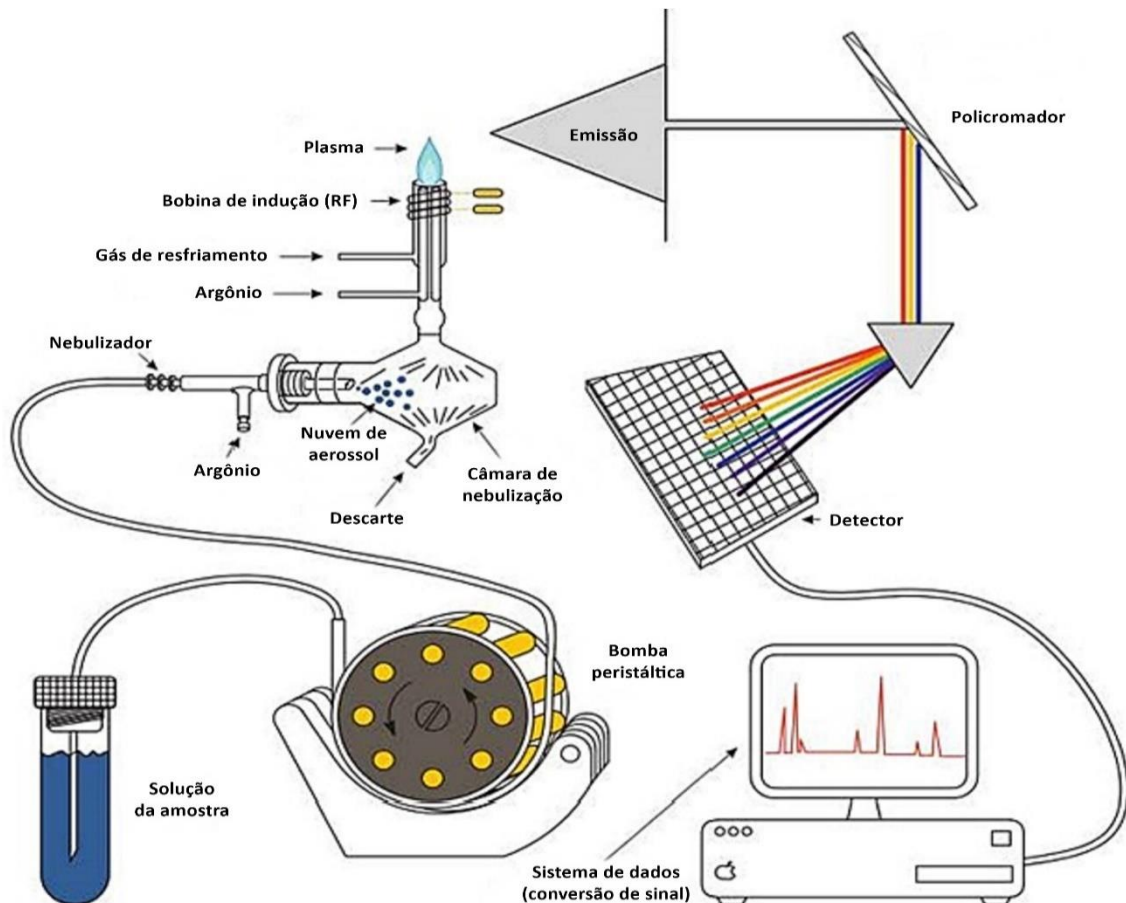
A espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP OES) é uma técnica analítica usada para a determinação de elementos químicos. O ICP OES e o ICP-MS compartilham do mesmo princípio de excitação dos átomos e íons por plasma de argônio, no entanto, o ICP OES detecta a radiação eletromagnética emitida por esses átomos e íons quando eles retornam a estados de menor energia. Uma vez que cada elemento possui um espectro específico, os comprimentos de onda identificam os elementos correspondentes [41,46].

O plasma é um gás parcialmente ionizado e eletricamente neutro gerado na extremidade de uma tocha formada por três tubos concêntricos de quartzo. O tubo interno injeta a amostra na tocha com auxílio do gás de nebulização. O tubo intermediário introduz o gás auxiliar que alimenta o plasma. O tubo externo injeta o gás que atua como isolante térmico, impedindo que o plasma derreta a tocha. Geralmente, gás argônio é usado nos três tubos [40].

A extremidade da tocha é envolvida por uma bobina de indução que está conectada a um gerador de radiofrequência (RF), esse gerador fornece energia a bobina de indução criando uma corrente alternada de alta frequência que induz um intenso campo eletromagnético (Figura 6). Quando o argônio começa a fluir na tocha, uma descarga elétrica de alta tensão ioniza uma fração dos átomos de argônio gerando íons e elétrons que são influenciados pelo campo eletromagnético e colidem com outros átomos de argônio gerando um efeito cascata, a temperatura do plasma varia entre 6.000 e 10.000 K [40,41,46].

A amostra é introduzida na tocha logo após a estabilização do plasma e a radiação eletromagnética emitida pelos átomos e íons da amostra é direcionada para o detector por meio do monocromador/policromador, espelhos e prisma. A intensidade da radiação é proporcional à concentração do elemento, logo, curvas de calibração externas são empregadas para correlacionar a concentração do elemento na amostra com a intensidade da radiação [40].

Figura 6. Esquema do funcionamento de um ICP OES.



Fonte: Adaptação de [46].

As principais vantagens do ICP OES são a larga faixa de trabalho, baixos limites de detecção, baixo consumo da amostra e a determinação multielementar simultânea, que permite a análise de inúmeros elementos em uma única medida, economizando tempo e recursos. As limitações dessa técnica incluem interferências espectrais, viscosidade e densidade da amostra e os custos de aquisição e manutenção do equipamento [40,46].

O ICP OES é uma das técnicas analíticas mais utilizadas para determinação elementar em amostras de MP e PTS. A Tabela 2 reúne estudos recentes que usaram o ICP OES para análise elementar em amostras de MP ou PTS.

Tabela 2. Estudos recentes que usaram ICP OES para determinar metais potencialmente tóxicos em amostras de Material Particulado e Partículas Totais em Suspensão.

Elementos	País	Amostra	Referência
Al, As, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Dy, Er, Eu, Fe, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Pr, Sn, Tb, Ti, V e Zn	Colômbia	MP _{2,5} e MP ₁₀	[47]
Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Ti e Zn	China	MP _{2,5} e MP ₁₀	[48]
Ag, Al, As, B, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, Sn, Sr, V e Zn	Irã	PTS	[49]
Ba, Cr, Cu, Fe, Mn e Ni	Áustria	MP ₁₀	[50]
Al, Cr, Cu, Cd, Fe, Mn, Ni, Pb, Ti, V e Zn	Brasil	PTS e MP _{2,5}	[51]
Al, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Pb e Zn	Índia	PTS, MP _{2,5} e MP ₁₀	[25]
As, Ba, Ca, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Ni, Sr, Ti, V e Zn	Brasil	MP ₁₀	[52]

Tabela 2. Estudos recentes que usaram ICP OES para determinar metais potencialmente tóxicos em amostras de Material Particulado e Partículas Totais em Suspensão (continuação).

Elementos	País	Amostra	Referência
As, Ca, Cd, Co, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, V e Zn	Colômbia	MP ₁₀	[53]
Al, As, Ca, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Ti, Tl, V e Zn	China	MP _{2,5}	[54]
Al, Ba, Ca, Fe, K, Na, S e Zn	Brasil	MP ₁₀	[55]
Ba, Co, Cu, Mn, Ni e Pb	Áustria	MP ₁₀	[56]
Al, Ba, Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Si, Sr, Ti e Zn	Áustria	MP ₁₀	[57]
Al, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Ti, V e Zn	Brasil	MP _{2,5}	[58]

Souza *et al.* (2021) estudaram a composição elementar de MP_{2,5} e MP₁₀ coletados na cidade de Manizales, Colômbia. As amostras de MP foram coletadas em filtros de quartzo por meio de amostradores de alto e pequeno volume, atuando com vazão de 1,1 m³ min⁻¹ e 16,7 L min⁻¹, respectivamente, por um período de 24 horas. O procedimento de preparo das amostras empregou duas técnicas, a extração assistida por ultrassom seguida da decomposição por microondas. O HNO₃ e HF foram os reagentes utilizados para a extração dos analitos. Os autores conseguiram determinar a concentração de alguns elementos, visto que, uma parte considerável dos analitos apresentou concentração abaixo do limite de detecção. Os valores observados não excederam os padrões de nenhuma legislação conhecida pelos autores [47].

Mateus *et al.* (2013) determinaram a composição elementar de amostras de MP_{2,5} e PTS cedidas pelo Instituto Estadual do Ambiente – INEA, Rio de Janeiro. Essas amostras foram coletadas usando filtros de fibra de vidro e amostradores de alto volume a uma vazão de 1,14 m³ min⁻¹. O procedimento de extração dos analitos envolveu o uso de HNO₃ aquecido a 95 °C por 2 horas. A determinação elementar

revelou que a concentração de nenhum dos analitos excedeu os padrões recomendados pelas principais agências de monitoramento [51].

Com base nessa revisão bibliográfica fica evidente que as pesquisas relacionadas as partículas atmosféricas são de grande importância para a sociedade, visto que essas partículas podem causar impactos negativos na saúde humana e no meio ambiente. Diante disso, o monitoramento da concentração de partículas atmosféricas e a análise da sua composição química são ferramentas essenciais para entender como esse poluente afeta o meio ambiente e os seres humanos.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Desenvolvimento do amostrador de PTS

O amostrador de Partículas Totais em Suspensão (PTS) foi desenvolvido a partir de materiais alternativos com o intuito de criar um equipamento acessível e de baixo custo.

Um motor de bomba a vácuo TE-058 (Tecnal®, São Paulo, Brasil) foi utilizado como bomba de sucção de ar, esse modelo opera com vazão máxima de 24 L min^{-1} . Um fluxômetro de ar comprimido 0-30 L min^{-1} (Protec, São Paulo, Brasil) foi usado como rotâmetro do equipamento. Uma camada de tecido TNT (tecido não tecido) e uma união rosqueável de 50 mm de diâmetro, fabricada em material PVC (policloreto de vinila), foram usadas como suporte para o filtro. Tubulações e conexões em PVC foram usadas por todo o sistema de condução de ar, uma mangueira de silicone foi usada para conectar o fluxômetro a bomba de sucção. Coolers de CPU foram usados como sistema de arrefecimento da bomba de sucção, a ventoinha desse componente gera uma aceleração na troca de calor entre a bomba de sucção e o ar ambiente. Todos esses componentes foram abrigados em uma caixa de madeira MDF (*Medium Density Fiberboard*), imagens do equipamento podem ser observadas na Figura 7.

Figura 7. Amostrador de Partículas Totais em Suspensão desenvolvido neste trabalho.



Fonte: Próprio autor.

4.2 Área de estudo e amostragem

As amostragens das PTS foram realizadas em cinco localidades do município de Itapetinga (Figura 8). O município está localizado na região do médio sudoeste da Bahia, cerca de 562 km da capital, as coordenadas geográficas aproximadas são latitude -15.2424 e longitude -40.2479. De acordo com o Censo 2022, o município de Itapetinga possui uma população de aproximadamente 65.897 habitantes e densidade populacional de 39,9 habitantes por km². As principais atividades econômicas do município estão ligadas a pecuária, indústria frigorífica, indústria de calçados, comércio e serviços [59,60].

Figura 8. Imagem via satélite do município de Itapetinga.



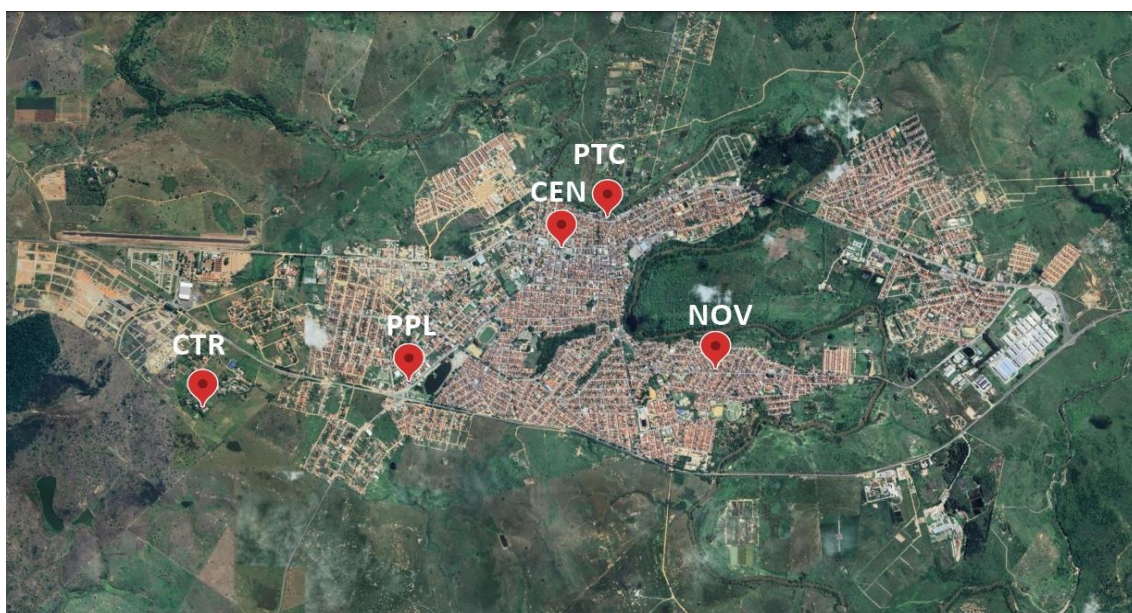
Fonte: Google Earth Pro (2023).

Os cinco pontos de amostragem foram selecionados com base no tráfego urbano do município, visto que, existe uma correlação entre a intensidade do fluxo de veículos e a concentração de partículas suspensas na atmosfera. A primeira amostragem foi realizada na principal avenida do bairro Nova Itapetinga (NOV), esse bairro é um dos mais populosos e movimentados do município.

A segunda amostragem ocorreu em uma região conhecida popularmente como Ponto Certo (PTC). O tráfego de veículos leves e pesados é intenso nesse local. A terceira amostragem foi realizada no centro do município (CEN), essa região é o principal ponto comercial da cidade, contando com inúmeras lojas, agências bancárias, clínicas e farmácias.

A quarta amostragem foi realizada no Parque Poliesportivo da Lagoa (PPL), esse local fica às margens da BR-415, rodovia que liga o município de Vitória da Conquista aos municípios de Ilhéus e Itabuna, consequentemente, essa região apresenta tráfego intenso de veículos leves e pesados. A quinta amostragem ocorreu em uma região considerada rural, no intuito de obter uma amostra controle (CTR), pois espera-se que a concentração de PTS nesse local seja menor que nos outros pontos selecionados. Os cinco pontos de amostragem estão marcados no mapa da Figura 9.

Figura 9. Imagem via satélite com as localizações dos pontos de amostragem em Itapetinga.



Fonte: Google Earth Pro (2023).

As amostragens foram realizadas em dias de céu limpo e ensolarado, abrangendo o período de abril a julho de 2022. O amostrador operou a uma vazão de $16,7 \text{ L min}^{-1}$ por um período de 48 horas e as amostras de PTS foram coletadas em filtros de fibra de vidro (Energética, Rio de Janeiro, Brasil), que possuíam diâmetro de 57 mm (Figura 10), foram obtidas uma amostra para cada ponto de amostragem.

Figura 10. Partículas Totais em Suspensão coletadas no filtro de fibra de vidro.



Fonte: Próprio autor.

4.3 Determinação da concentração de PTS

A concentração de PTS foi determinada a partir de análise gravimétrica. Antes de ser utilizado na amostragem, o filtro foi acondicionado em dessecador por 24 horas para eliminar erros associados a umidade, em seguida, a massa do filtro foi medida em uma balança analítica semi-micro AUW220D (Shimadzu, Quioto, Japão). Após a coleta da amostra, o filtro foi novamente acondicionado em dessecador por 24 horas para eliminar a umidade, em seguida, a massa foi medida usando uma balança analítica. A concentração de PTS, expressa em $\mu\text{g m}^{-3}$, foi calculada a partir da equação 2:

$$\text{Concentração de PTS} = \frac{(\text{Massa final} - \text{Massa inicial})}{\text{Volume de ar}} \quad (2)$$

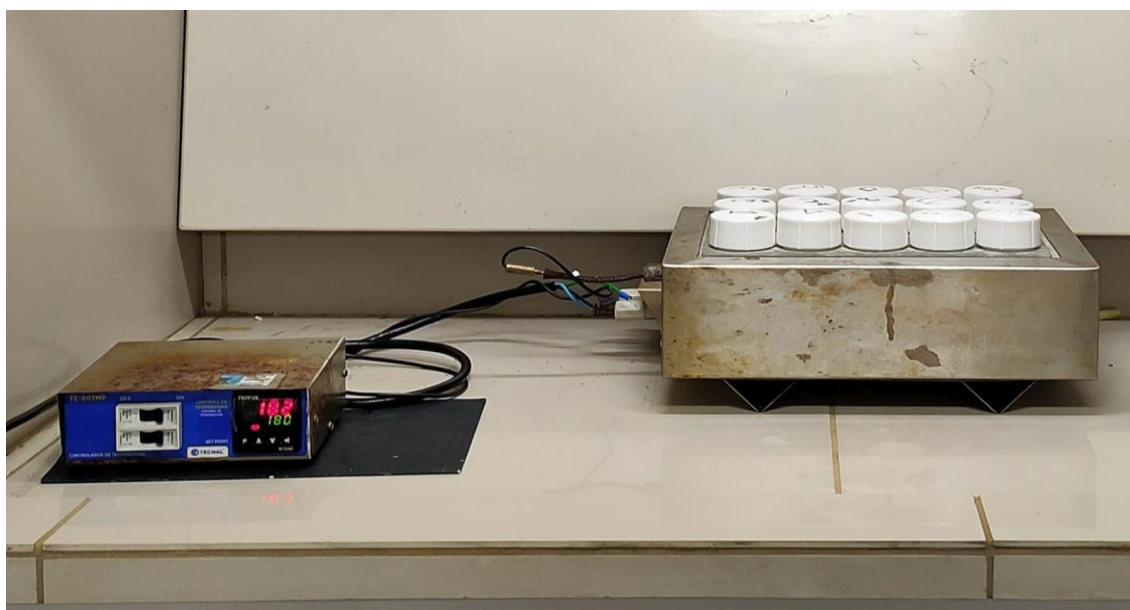
Após a determinação da concentração de PTS as amostras foram armazenadas e estocadas em geladeira a 4 °C.

4.4 Preparo das amostras

Reagentes de grau analítico foram usados no preparo das amostras. Todas as soluções foram preparadas usando água de alta pureza obtida por um sistema de purificação de água Arium® Comfort (Sartorius, Gottingen, Alemanha) com resistividade de $18,2 \text{ M}\Omega \text{ cm}^{-1}$. As vidrarias e recipientes foram previamente submetidos a um processo de descontaminação por imersão em solução de HNO_3 10% v v⁻¹ por 48 horas, em seguida, esses materiais foram lavados três vezes com água de alta pureza e acomodados para secagem à temperatura ambiente.

Na etapa de preparo das amostras, os filtros contendo as PTS foram divididos em quatro partes de tamanho semelhante usando uma tesoura de aço inoxidável, em seguida, a massa de cada uma das partes foi medida usando uma balança analítica. Três partes de cada amostra foram individualmente submetidas a um processo de extração ácida em sistema fechado com aquecimento em bloco digestor modelo TE-007MP (Tecnal®, São Paulo, Brasil) (Figura 11), cada parte foi considerada uma réplica da amostra.

Figura 11. Bloco digestor TE-007MP.



Fonte: Próprio autor.

O procedimento de extração ácida consistiu em transferir os filtros contendo as amostras para frascos de politetrafluoroetileno (PTFE) com tampa de rosca, em seguida, foi adicionado a cada frasco 8,4 mL de água de alta pureza, 0,2 mL de ácido nítrico (HNO_3 , 65%), 1,0 mL de ácido clorídrico (HCl , 37%) e 0,4 mL de peróxido de hidrogênio (H_2O_2 , 30%), todos provenientes da Merck (Darmstadt, Alemanha), sendo que o ácido nítrico e o ácido clorídrico foram purificados por destilação dupla em sistema de quartzo (Kürner Analysentechnik, Rosenheim, Alemanha). Os frascos foram fechados e submetidos ao aquecimento no bloco digestor a uma temperatura de 180 °C por 2 horas. Após o resfriamento dos frascos, as soluções foram transferidas para tubos do tipo falcon e o volume foi ajustado para 12,5 mL com água de alta pureza. As amostras foram armazenadas em geladeira a 4 °C para posterior determinação elementar por ICP OES.

4.5 Determinação elementar por ICP OES

Um espectrômetro de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP OES) modelo 720 (Agilent Technologies, California, Estados Unidos) foi usado para determinação elementar. As medidas foram realizadas em visualização axial e nas seguintes condições operacionais: potência de radiofrequência (1,3 kW), vazão do gás principal (15 L min⁻¹), vazão do gás auxiliar (1,5 L min⁻¹), vazão do gás nebulizador

(0,8 L min⁻¹). Argônio 99,998% (White Martins) foi usado como gás de nebulização e formação do plasma. O sistema de introdução da amostra consistia em um nebulizador concêntrico (OneNeb) e uma câmara de nebulização ciclônica.

Uma curva de calibração externa foi preparada a partir da diluição de soluções padrão monoelementares 1000 mg L⁻¹ (Merck) em água de alta pureza. A acidez da curva de calibração foi ajustada para 2% com uma solução de ácido nítrico, conforme recomendação do fabricante. Os elementos, seus respectivos comprimentos de onda e dados sobre a curva de calibração externa estão descritos na Tabela 3.

Tabela 3. Dados das curvas de calibração obtidas neste trabalho.

Elemento	Comprimento de onda (nm)	Faixa de concentração (µg L⁻¹)	Equação	R²
As	193,696	0-350	y = 981,88x + 25,772	0,9962
Cd	214,439	0-600	y = 48972x - 263,35	0,9942
Co	228,615	0-300	y = 24622x + 13,378	0,9987
Cr	205,560	0-800	y = 10374x + 84,937	0,9982
Cu	213,598	0-1000	y = 15022x - 121,53	0,9979
Fe	238,204	0-50000	y = 40133x + 10775	0,9991
Mn	259,372	0-1000	y = 258906x - 1310,9	0,9984
Ni	231,604	0-300	y = 6105,5x + 28,751	0,9993
Pb	220,353	0-8000	y = 3287,7x - 4,3903	0,9998
S	180,669	0-50000	y = 128,74x + 26,606	0,9999
Sb	206,834	0-350	y = 2860,7x + 39,278	0,9985
Sr	216,596	0-1000	y = 30293x - 757,74	0,9945
V	311,070	0-350	y = 140909x - 37,771	0,9985
Zn	206,200	0-100000	y = 3147,8 + 3785,8	0,9942

4.6 Limites de detecção e quantificação

Os limites de detecção (LD) e quantificação (LQ) são parâmetros muito importantes em medidas espectrométricas, principalmente quando se trata da determinação de analitos em baixas concentrações.

O limite de detecção é a menor concentração do analito que pode ser detectada por uma medida instrumental significativamente diferente da medida instrumental do branco analítico. O limite de detecção (LD) foi calculado considerando a curva de calibração e a medida do branco analítico, de acordo com a equação 3:

$$LD = \frac{3s}{a} \quad (3)$$

Sendo que, “s” é o desvio padrão de dez brancos analíticos e “a” é o coeficiente angular da curva de calibração.

O limite de quantificação representa a menor concentração do analito que pode ser medida com uma determinada certeza estatística. O limite de quantificação (LQ) também é calculado considerando a curva de calibração e a medida do branco analítico, de acordo com a equação 4:

$$LQ = \frac{10s}{a} \quad (4)$$

Sendo que, “s” é o desvio padrão de dez brancos analíticos e “a” é o coeficiente angular da curva de calibração.

Os brancos analíticos foram preparados aplicando o procedimento de extração ácida usado no preparo das amostras em filtros não utilizados.

4.7 Exatidão e precisão

Os materiais de referência certificados BCR-176R *Fly Ash* (*Institute for Reference Materials and Measurements* - IRMM, Geel, Bélgica) e NIST1648a *Urban Particle Matter* (*National Institute of Standards and Technology* - NIST, Gaithersburg, Maryland, EUA) foram usados para avaliar a exatidão e a precisão do método. Para isso, o mesmo procedimento usado no preparo das amostras foi aplicado em cerca

de 16,5 mg do NIST1648a e 50 mg do BCR-176R, em triplicata. A porcentagem de recuperação foi calculada de acordo com a equação 5:

$$\text{Recuperação (\%)} = \frac{\text{Valor encontrado}}{\text{Valor certificado}} \times 100 \quad (5)$$

A precisão do método foi expressa como desvio padrão relativo (RSD%), calculado pela seguinte equação:

$$\text{RSD\%} = \frac{s}{\bar{X}} \times 100 \quad (6)$$

Em que “ s ” é o desvio padrão das medidas de uma mesma amostra e $\bar{X}$ a média das medidas da amostra.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Concentração de PTS

O CONAMA, por meio da resolução N.º 491, de 19 de novembro de 2018, estabelece alguns padrões de qualidade do ar, dentre eles, a concentração máxima de $60 \mu\text{g m}^{-3}$ para $\text{MP}_{2,5}$, $120 \mu\text{g m}^{-3}$ para MP_{10} e $240 \mu\text{g m}^{-3}$ para PTS, para um período de 24 horas de exposição. A Tabela 4 apresenta a concentração de PTS determinada em cada ponto de amostragem, os valores encontrados neste estudo não excederam o limite máximo estabelecido pela legislação vigente.

Tabela 4. Concentração de Partículas Totais em Suspensão nos cinco pontos de amostragem.

Ponto de amostragem	Concentração de PTS ($\mu\text{g m}^{-3}$)
Controle (CTR)	$23,35 \pm 1,11$
Lagoa (PPL)	$35,55 \pm 1,48$
Centro (CEN)	$16,63 \pm 0,91$
Ponto Certo (PTC)	$37,21 \pm 1,53$
Nova Itapetinga (NOV)	$41,37 \pm 1,65$

O ponto de amostragem CEN apresentou a menor concentração de PTS do estudo, esse resultado foi inesperado, considerando o intenso tráfego urbano no local. Essa baixa concentração de PTS pode estar relacionada com a variação de um ou mais parâmetros meteorológicos durante o período de amostragem, como a pressão atmosférica, umidade do ar, direção e velocidade do vento etc.

A segunda menor concentração de PTS foi determinada em CTR. Esse ponto de amostragem está localizado em uma região considerada rural, sendo assim, a concentração de PTS sofre grande influência da ressuspensão de poeira causada pelo vento. Para os pontos de amostragem PPL, PTC e NOV, as concentrações de PTS estão de acordo com o previsto, o tráfego intenso de veículos nessas localidades gera uma quantidade maior de emissões veiculares e causa ressuspensão de poeira da estrada, logo, era esperado que houvesse uma maior concentração de PTS nesses pontos de amostragem.

A Tabela 5 apresenta concentrações de PTS em algumas regiões do mundo.

Tabela 5. Concentrações de PTS em estudos realizados em outras regiões do mundo.

Local	Ano	Concentração de PTS ($\mu\text{g m}^{-3}$)	Referência
Oberschleissheim, Baviera, Alemanha	2001	15-90	[61]
Sevilha, Andaluzia, Espanha	2001-2002	62-117	[62]
Guiyang, Guizhou, China	2005	115-222	[63]
Aracaju, Sergipe, Brasil	2009-2010	11-124	[45]
Rio de Janeiro, RJ, Brasil	2010-2011	22-285	[51]
Seropédica, RJ, Brasil	2010-2011	12-81	
Ballari, Karnataka, Índia	2017-2018	103-367	[64]
Taiyuan, Shanxi, China	2018	51-325	[65]
Itapetinga, BA, Brasil	2022	17-41	Este estudo

Os dados expressados na Tabela 5 revelam consideráveis variações na concentração de PTS em vários locais do mundo, conforme abordado anteriormente. Essas variações podem estar relacionadas com a influência de diversos parâmetros meteorológicos e climáticos, que exercem um impacto direto na concentração de partículas suspensas na atmosfera. Os valores observados em Itapetinga estão condizentes com valores observados em outros locais, como Sevilha, Aracaju e Seropédica. Vale citar que os estudos conduzidos nesses locais abrangeram o período de um ano, enquanto o estudo realizado em Itapetinga abrangeu um período de 4 meses, isso justifica as variações na concentração de PTS observadas nesses locais.

5.2 Limites de detecção e quantificação

Os valores dos limites de detecção e quantificação dos analitos estudados estão descritos na Tabela 6.

Tabela 6. Limites de detecção e quantificação para o método aplicado.

Elemento	LD (pg m ⁻³)	LQ (pg m ⁻³)
As	6,36	21,22
Cd	0,012	0,041
Co	0,12	0,41
Cr	2,55	8,49
Cu	0,15	0,52
Fe	2,68	8,95
Mn	0,03	0,10
Ni	0,21	0,70
Pb	0,56	1,86
S	416	1388
Sb	1,02	3,39
Sr	1,61	5,37
V	0,005	0,015
Zn	2067	6889

Os limites de detecção variaram entre 0,005 e 2067 pg m⁻³ e os limites de quantificação variaram entre 0,015 e 6889 pg m⁻³. Essa grande variação é causada pela composição química dos filtros de fibra de vidro, que apresenta alguns desses elementos como constituintes principais. Para minimizar essa influência é recomendado o uso de filtros de politetrafluoretileno (PTFE) ou quartzo.

O CONAMA, por meio da resolução N.º 491, de 19 de novembro de 2018, estabelece que a concentração máxima de Pb no ar seja de $0,5 \mu\text{g m}^{-3}$. A principal agência de monitoramento ambiental da União Europeia estabelece que a concentração máxima de As, Cd e Ni no ar seja de 6, 5 e 20 ng m^{-3} , respectivamente. Considerando os padrões estabelecidos por diversas agências de monitoramento ambiental e os limites de detecção e quantificação obtidos neste estudo, fica evidenciado que o método tem sensibilidade satisfatória para a determinação desses elementos [10,36].

5.3 Exatidão e precisão

A exatidão e a precisão do método foram avaliadas usando os materiais de referência certificados BCR-176R *Fly Ash* e NIST1648a *Urban Particle Matter*, os resultados obtidos estão descritos na Tabela 7. Os valores determinados e certificados estão expressos em mg kg^{-1} , com exceção de Fe, Pb e S, cujos resultados estão expressos em porcentagem (m/m) para o material de referência certificado NIST1648a.

Tabela 7. Exatidão e precisão do método por BCR-176R e NIST1648a.

Elemento	CRM	Valor determinado	Valor certificado	Rec. (%)	RSD%
As	BCR-176R	$50,8 \pm 2$	54 ± 5	94 ± 3	3,7
	NIST1648a	$143,8 \pm 3,6$	$115,5 \pm 3,9$	124 ± 3	2,5
Cd	BCR-176R	$195,7 \pm 9$	226 ± 19	87 ± 4	4,8
	NIST1648a	$83,8 \pm 1,4$	$73,7 \pm 2,3$	114 ± 2	1,7
Co	BCR-176R	$27,8 \pm 0,8$	$26,7 \pm 1,6$	104 ± 3	2,9
	NIST1648a	$20,8 \pm 1,0$	$17,93 \pm 0,68$	116 ± 6	4,7
Cr	BCR-176R	$205 \pm 7,4$	810 ± 70	25 ± 1	3,6
	NIST1648a	$100,5 \pm 6,3$	402 ± 13	25 ± 2	6,3

Tabela 7. Exatidão e precisão do método por BCR-176R e NIST1648a (continuação).

Elemento	CRM	Valor determinado	Valor certificado	Rec. (%)	%RSD
Cu	BCR-176R	-	-	-	-
	NIST1648a	647 ± 18	610 ± 70	106 ± 3	2,8
Fe	BCR-176R	11985 ± 204	13100 ± 500	91 ± 2	1,7
	NIST1648a	4,38 ± 0,14	3,92 ± 0,21	112 ± 4	3,3
Mn	BCR-176R	-	-	-	-
	NIST1648a	774 ± 34	790 ± 44	98 ± 4	4,4
Ni	BCR-176R	83,5 ± 2	117 ± 6	71 ± 2	2,3
	NIST1648a	74,3 ± 1,7	81,1 ± 6,8	92 ± 2	2,4
Pb	BCR-176R	-	-	-	-
	NIST1648a	0,632 ± 0,016	0,655 ± 0,033	96 ± 2	2,5
S	BCR-176R	-	-	-	-
	NIST1648a	4,49 ± 0,06	5,51 ± 0,36	81 ± 1	1,5
Sb	BCR-176R	-	-	-	-
	NIST1648a	45 ± 0,9	45,4 ± 1,4	99 ± 2	2,0
Sr	BCR-176R	-	-	-	-
	NIST1648a	185,7 ± 10	215 ± 17	86 ± 4	5,3
V	BCR-176R	-	-	-	-
	NIST1648a	113,2 ± 7	127 ± 11	89 ± 6	6,4
Zn	BCR-176R	15615 ± 482	16800 ± 400	93 ± 3	3,1
	NIST1648a	4818 ± 156	4800 ± 270	100 ± 3	3,2

A recuperação de Cr foi aproximadamente 25% para os dois materiais de referência certificados, indicando que o método não foi eficiente para a extração desse elemento. Para os demais elementos, as porcentagens de recuperação estão na faixa de 80 a 110%, demonstrando que o método é eficiente para extração desses analitos. Os valores de RSD% foram menores que 6,4% para análises em triplicatas, indicando uma ótima precisão.

5.4 Determinação elementar por ICP OES

As concentrações elementares determinadas nas amostras de PTS estão descritas na Tabela 8, os resultados estão expressos em ng m^{-3} .

Tabela 8. Concentração elementar das amostras de PTS.

Elemento	CTR	PPL	CEN	PTC	NOV
As	$9,2 \pm 1,7$	<LD	$11,2 \pm 2,9$	$7,5 \pm 2,4$	$4,1 \pm 0,9$
Cd	$2,9 \pm 0,4$	$3,4 \pm 0,1$	$2,9 \pm 0,7$	$4,4 \pm 0,1$	$3,2 \pm 0,1$
Co	$2,3 \pm 0,5$	$3,2 \pm 1,7$	$1,2 \pm 0,9$	$2,7 \pm 0,3$	$1,1 \pm 0,3$
Cu	$11,9 \pm 2,5$	$18,5 \pm 0,6$	$12,3 \pm 2,7$	$17,1 \pm 3,1$	$13,1 \pm 1,2$
Fe	758 ± 151	1439 ± 320	408 ± 23	960 ± 42	803 ± 90
Mn	$13,0 \pm 2,1$	$26,0 \pm 2,8$	$11,8 \pm 4,2$	$18,3 \pm 1,1$	$17,6 \pm 2,3$
Ni	<LD	$7,3 \pm 2,3$	$2,4 \pm 0,4$	$1,5 \pm 0,4$	$2,3 \pm 0,4$
Pb	$4,7 \pm 1,2$	$14,3 \pm 1,0$	$8,9 \pm 0,9$	$14,4 \pm 1,7$	$5,5 \pm 0,8$
S	232 ± 36	416 ± 115	254 ± 50	316 ± 51	418 ± 19
Sb	<LD	$10,7 \pm 3,0$	$3,5 \pm 0,8$	$2,2 \pm 1,4$	$5,3 \pm 1,3$
Sr	<LD	$70,4 \pm 22$	$36,5 \pm 15,4$	$63,3 \pm 12,3$	$25,6 \pm 2,7$
V	$1,7 \pm 0,4$	$3,8 \pm 0,9$	$1,01 \pm 0,03$	$1,5 \pm 0,2$	$1,68 \pm 0,01$
Zn	<LD	6516 ± 1975	<LD	4634 ± 1786	790 ± 205

A concentração de Pb determinada em todas as amostras não excede o padrão de $0,5 \mu\text{g m}^{-3}$ estabelecido pelo CONAMA por meio da resolução N.º 491/2018. As maiores concentrações de Pb foram determinadas nas amostras PPL e PTC, $14,0$ e $14,1 \text{ ng m}^{-3}$, respectivamente. Os pontos de amostragem PPL e PTC estão localizados em regiões que apresentam grande fluxo de veículos pesados movidos a diesel, sendo possível sugerir que as maiores concentrações de Pb nessas amostras estejam relacionadas às emissões veiculares [10].

O Brasil não possui padrões estabelecidos para a concentração de As, Cd e Ni no ar ambiente, diante disso, os resultados obtidos para esses elementos foram comparados aos padrões estabelecidos pela União Europeia (6 , 5 e 20 ng m^{-3} para As, Cd e Ni, respectivamente). Com base nesses padrões, a concentração de As determinada nas amostras CTR, CEN e PTC excedem o limite estabelecido pela União Europeia. Não foi possível identificar as fontes de emissão desse elemento, pois vários processos podem contribuir para a emissão de As na atmosfera, como a queima de combustíveis fósseis, atividades industriais, incineração de resíduos, agricultura e processos naturais [36].

Costa *et al.* (2019) analisaram a concentração de metais em amostras de PTS coletadas na cidade de Aracaju, Sergipe. As amostras foram coletadas em filtros de fibra de vidro utilizando um amostrador de alto volume com vazão de $1,1 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$ por um período de 24 horas. A etapa de preparo das amostras envolveu a extração dos analitos em forno microondas usando 4 mL de HNO_3 , 2 mL de HCl e 1 mL de H_2O_2 . Os metais foram determinados por ICP-MS e as concentrações médias para o período de seca foram de $4,6$; $83,8$; 2570 ; $27,4$; $2,6$ e $55,4 \text{ ng m}^{-3}$ para Cd, Cu, Fe, Mn, Ni e Pb, respectivamente. As concentrações médias para o período chuvoso foram de $5,1$; 139 ; 2490 ; 31 ; $1,9$ e $62,9 \text{ ng m}^{-3}$ para Cd, Cu, Fe, Mn, Ni e Pb, respectivamente. As concentrações médias de Cd, Mn e Ni neste estudo são ligeiramente semelhantes aos valores observados em Itapetinga, por outro lado, a concentração dos demais elementos é maior em Aracaju, justificado pela cidade ser o principal centro urbano do estado de Sergipe e Itapetinga estar localizada no interior da Bahia [32].

Gonçalves *et al.* (2016) avaliaram a concentração de alguns elementos em amostras de PTS coletadas na região de Alenquer, Pará. O procedimento de amostragem envolveu o uso de um amostrador de alto volume operando com vazão de $1,5 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$ por um período de 24 horas, as amostras foram coletadas em filtros

de quartzo. Os analitos foram extraídos com HNO_3 e agitação mecânica por 5 horas à temperatura ambiente. A determinação elementar das amostras de PTS foi realizada por ICP-MS e a concentração média de Fe, Mn e Pb foi de 7, 1,2 e 0,21 ng m^{-3} para o período chuvoso, respectivamente, e 32, 6,4 e 0,51 ng m^{-3} para o período de seca, respectivamente. Os dados obtidos indicam que há um aumento na concentração de metais nas PTS no período de seca, no entanto, os valores observados são baixos se comparado aos resultados obtidos em Itapetinga ou em grandes centros urbanos [66].

6 CONCLUSÃO

O amostrador de Partículas Totais em Suspensão desenvolvido nesta pesquisa apresentou um excelente desempenho na coleta das amostras. O desenvolvimento desse equipamento possibilitou o primeiro estudo sobre qualidade do ar em Itapetinga-BA.

As concentrações de PTS determinadas neste estudo não excederam os padrões estabelecidos pelo CONAMA através da resolução N° 491/2018, não sendo necessário a adoção de métodos de controle desse poluente no município de Itapetinga.

O método de extração ácida dos metais (As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, S, Sb, Sr, V e Zn) foi validado com excelente precisão e exatidão. Os limites de detecção e quantificação indicam que esse método atende as exigências de todas as entidades de monitoramento ambiental do mundo.

A determinação de metais potencialmente tóxicos nas amostras obtidas neste estudo revelou que a concentração de arsênio no ar ambiente de alguns locais do município estava acima do limite máximo estabelecido na União Europeia. Alguns resultados obtidos neste estudo tiveram que ser comparados aos padrões de outras agências de monitoramento ambiental, visto que, o Conselho Nacional do Meio Ambiente ainda não estabeleceu padrões para outros poluentes.

Uma vez que o amostrador de PTS foi desenvolvido e o seu desempenho foi avaliado, os próximos passos envolvem a aplicação desse equipamento em outras localidades que não dispõe de monitoramento da qualidade do ar. Além disso, a pesquisa pode ser estendida para a determinação de outros poluentes atmosféricos, como os compostos orgânicos voláteis (COVs) e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs).

REFERÊNCIAS

- [1] J. Aguilera, K. Konvinse, A. Lee, H. Maecker, M. Prunicki, S. Mahalingaiah, V. Sampath, P.J. Utz, E. Yang, K.C. Nadeau, Air pollution and pregnancy, *Semin Perinatol.* (2023) 151838. <https://doi.org/10.1016/j.semperi.2023.151838>.
- [2] H.M. Tran, F.-J. Tsai, Y.-L. Lee, J.-H. Chang, L.-T. Chang, T.-Y. Chang, K.F. Chung, H.-P. Kuo, K.-Y. Lee, K.-J. Chuang, H.-C. Chuang, The impact of air pollution on respiratory diseases in an era of climate change: A review of the current evidence, *Science of The Total Environment.* 898 (2023) 166340. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166340>.
- [3] Y. Qin, C. Sun, D. Li, H. Zhang, H. Wang, Y. Duan, Does urban air pollution have an impact on public health? Empirical evidence from 288 prefecture-level cities in China, *Urban Clim.* 51 (2023) 101660. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2023.101660>.
- [4] I. Sadiktsis, M.F. de Oliveira Galvão, M. Mustafa, M. Toubanc, B. Ünlü Endirlik, S. Silvergren, C. Johansson, K. Dreij, A yearlong monitoring campaign of polycyclic aromatic compounds and other air pollutants at three sites in Sweden: Source identification, in vitro toxicity and human health risk assessment, *Chemosphere.* 332 (2023) 138862. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138862>.
- [5] H. Zhang, W. Sun, W. Li, Y. Wang, Physical and chemical characterization of fugitive particulate matter emissions of the iron and steel industry, *Atmos Pollut Res.* 13 (2022) 101272. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2021.101272>.
- [6] W. Wu, Y. Jin, C. Carlsten, Inflammatory health effects of indoor and outdoor particulate matter, *Journal of Allergy and Clinical Immunology.* 141 (2018) 833–844. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2017.12.981>.
- [7] T. Wei, M. Tang, Biological effects of airborne fine particulate matter (PM 2.5) exposure on pulmonary immune system, *Environ Toxicol Pharmacol.* 60 (2018) 195–201. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2018.04.004>.
- [8] J. Briffa, E. Sinagra, R. Blundell, Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans, *Heliyon.* 6 (2020) e04691. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04691>.

- [9] E.S. Galvão, J.M. Santos, A.T. Lima, N.C. Reis, M.T.D. Orlando, R.M. Stuetz, Trends in analytical techniques applied to particulate matter characterization: A critical review of fundamentals and applications, *Chemosphere*. 199 (2018) 546–568. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.02.034>.
- [10] Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, RESOLUÇÃO Nº 491, DE 19 DE NOVEMBRO DE 2018, (2018). https://www.in.gov.br/web/guest/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/51058895/do1-2018-11-21-resolucao-n-491-de-19-de-novembro-de-2018-51058603 (accessed November 9, 2023).
- [11] H. Wang, J. Zhou, X. Li, Q. Ling, H. Wei, L. Gao, Y. He, M. Zhu, X. Xiao, Y. Liu, S. Li, C. Chen, G. Duan, Z. Peng, P. Zhou, Y. Duan, J. Wang, T. Yu, Y. Yang, J. Wang, Z. Zhou, H. Gui, Y. Ding, Review on recent progress in on-line monitoring technology for atmospheric pollution source emissions in China, *Journal of Environmental Sciences*. 123 (2023) 367–386. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2022.06.043>.
- [12] M. Marć, M. Tobiszewski, B. Zabiegała, M. de la Guardia, J. Namieśnik, Current air quality analytics and monitoring: A review, *Anal Chim Acta*. 853 (2015) 116–126. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2014.10.018>.
- [13] World Health Organization, Ambient (outdoor) air pollution, (2022). [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health) (accessed November 9, 2023).
- [14] I. Mavroidis, M. Ilia, Trends of NO_x, NO₂ and O₃ concentrations at three different types of air quality monitoring stations in Athens, Greece, *Atmos Environ*. 63 (2012) 135–147. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.09.030>.
- [15] Most.M.M.F. Jion, J.N. Jannat, Md.Y. Mia, Md.A. Ali, Md.S. Islam, S.M. Ibrahim, S.C. Pal, A. Islam, A. Sarker, G. Malafaia, M. Bilal, A.R.M.T. Islam, A critical review and prospect of NO₂ and SO₂ pollution over Asia: Hotspots, trends, and sources, *Science of The Total Environment*. 876 (2023) 162851. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162851>.
- [16] Correio do Povo, Apenas duas estações de controle de qualidade de ar funcionam em Porto Alegre, (2015). <https://www.correiodopovo.com.br/not%C3%ADcias/geral/apenas-duas->

esta%C3%A7%C3%B5es-de-controle-de-qualidade-de-ar-funcionam-em-porto-alegre-1.167141 (accessed November 9, 2023).

- [17] INEMA, Qualidade do Ar, (n.d.). <http://www.inema.ba.gov.br/servicos/monitoramento/qualidade-do-ar-direciona-para-a-pagina-da-cetrel/> (accessed November 9, 2023).
- [18] F.O. Campos da Rocha, V.P. Campos, G.O. da Rocha, M.A. Bezerra, A.V.S. Brito, I. dos Santos Sampaio, Concentration levels of atmospheric contaminants in Brazilian cities measured by passive sampling, *Urban Clim.* 52 (2023) 101739. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2023.101739>.
- [19] World Health Organization, WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide, (2021). <https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228> (accessed November 9, 2023).
- [20] Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB, Relatórios de Qualidade do Ar do Estado de São Paulo, (2022). <https://cetesb.sp.gov.br/ar/publicacoes-relatorios/> (accessed November 9, 2023).
- [21] U.S. EPA, Particulate Matter (PM) Basics, (2023). <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics#PM> (accessed November 9, 2023).
- [22] W. Sung, S.-J. Yoo, Y.-J. Kim, Development of a real-time total suspended particle mass concentration measurement system based on light scattering for monitoring fugitive dust in construction sites, *Sens Actuators A Phys.* 331 (2021) 113017. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2021.113017>.
- [23] L.T. González, F.E. Longoria Rodríguez, M. Sánchez-Domínguez, A. Cavazos, C. Leyva-Porras, L.G. Silva-Vidaaurri, K.A. Askar, B.I. Kharissov, J.F. Villarreal Chiu, J.M. Alfaro Barbosa, Determination of trace metals in TSP and PM 2.5 materials collected in the Metropolitan Area of Monterrey, Mexico: A characterization study by XPS, ICP-AES and SEM-EDS, *Atmos Res.* 196 (2017) 8–22. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2017.05.009>.
- [24] B.T. Franzin, F.C. Guizellini, D. V. de Babos, O. Hojo, I.Ap. Pastre, M.R.R. Marchi, F.L. Fertoni, C.M.R.R. Oliveira, Characterization of atmospheric

- aerosol (PM₁₀ and PM_{2.5}) from a medium sized city in São Paulo state, Brazil, *Journal of Environmental Sciences*. 89 (2020) 238–251. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2019.09.014>.
- [25] N. Islam, A. Dihingia, P. Khare, B.K. Saikia, Atmospheric particulate matters in an Indian urban area: Health implications from potentially hazardous elements, cytotoxicity, and genotoxicity studies, *J Hazard Mater*. 384 (2020) 121472. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121472>.
- [26] W. Wardencki, M. Bielawska, Particulate Material Analysis in Air, in: 2016: pp. 343–367. <https://doi.org/10.1016/bs.coac.2016.04.011>.
- [27] T. Nogueira, P. Kumar, A. Nardocci, M. de F. Andrade, Public health implications of particulate matter inside bus terminals in Sao Paulo, Brazil, *Science of The Total Environment*. 711 (2020) 135064. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135064>.
- [28] L.M.T. Luong, D. Phung, P.D. Sly, L. Morawska, P.K. Thai, The association between particulate air pollution and respiratory admissions among young children in Hanoi, Vietnam, *Science of The Total Environment*. 578 (2017) 249–255. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.08.012>.
- [29] A.P. Nascimento, J.M. Santos, J.G. Mill, J.B. de Souza, N.C. Reis Júnior, V.A. Reisen, Association between the concentration of fine particles in the atmosphere and acute respiratory diseases in children, *Rev Saude Publica*. 51 (2017). <https://doi.org/10.1590/s1518-8787.2017051006523>.
- [30] Kenelec Scientific, HIVOL 3000 High Volume Air Sampler, (n.d.). <https://www.kenelec.com.au/products/hivol-3000-high-volume-air-sampler/> (accessed November 9, 2023).
- [31] S.A. Pozza, P.B. Gonçalves, F.C. Wouters, J.A.S. Vendemiatti, D.C. Nogarotto, E.R. Pereira-Filho, D.M.M. Osório, L.L. Romualdo, J.R. Godoi, L. Hoinaski, R.C. Urban, Particulate matter pollution and non-targeted analysis of polar compounds in three regions of Brazil, *Chemosphere*. 341 (2023) 139839. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.139839>.
- [32] S.S. Lopes Costa, J.C. Alves, T.S. Almeida, V.S. Ribeiro, V.L. Azzolin Frescura Bascuñan, T. Andrade Maranhão, C.A. Borges Garcia, G. Olímpio da Rocha,

- R.G. Oliveira Araujo, Seasonality of airborne trace element sources in Aracaju, Northeastern, Brazil, *J Environ Manage.* 247 (2019) 19–28. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.06.033>.
- [33] J.S. Carvalho, R. de K.S. do Nascimento, J.V.F. da R.F. Cintra, N.L.C. da Rosa, G.M. Grosseli, P.S. Fadini, R.C. Urban, Source apportionment and health impact assessment of atmospheric particulate matter in the city of São Carlos, Brazil, *Chemosphere.* 326 (2023) 138450. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138450>.
- [34] S.A. Horn, P.K. Dasgupta, The Air Quality Index (AQI) in historical and analytical perspective a tutorial review, *Talanta.* 267 (2024) 125260. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2023.125260>.
- [35] EPA, NAAQS Table, (n.d.). <https://www.epa.gov/criteria-air-pollutants/naaqs-table> (accessed November 9, 2023).
- [36] União Europeia, EU air quality standards, (2008). https://environment.ec.europa.eu/topics/air/air-quality/eu-air-quality-standards_en (accessed November 9, 2023).
- [37] K. Oginawati, R.J. Nathanael, N. Chazanah, Suharyanto, D. Prabandari, M.F. Basuki, B. Oclandhi, M. Santoso, S.A. Febriana, D.A. Nugrahaningsih, S. Suhartini, C.R.S. Prakoeswa, I. Tanziha, Occupational lead exposure health risk assessment and heme biosynthesis: A study on batik artisans in yogyakarta, Indonesia, *Heliyon.* 9 (2023) e19994. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19994>.
- [38] H. Saito, Congenital Minamata disease: a description of two cases in Niigata, *Neurotoxicology.* 81 (2020) 360–363. <https://doi.org/10.1016/j.neuro.2020.09.030>.
- [39] K. Murata, M. Sakamoto, Minamata Disease, in: *Encyclopedia of Environmental Health*, Elsevier, 2013: pp. 401–407. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.02075-3>.
- [40] D.A. Skoog, F.J. Holler, S.R. Crouch, *Principles of Instrumental Analysis*, 7th ed., Cengage Learning, Boston, 2017.

- [41] D.A. Skoog, D.M. West, F.J. Holler, S.R. Crouch, *Fundamentals of Analytical Chemistry*, 9th ed., Cengage Learning, Belmont, 2013.
- [42] M. Ogrizek, A. Kroflič, M. Šala, Critical review on the development of analytical techniques for the elemental analysis of airborne particulate matter, *Trends in Environmental Analytical Chemistry*. 33 (2022) e00155. <https://doi.org/10.1016/j.teac.2022.e00155>.
- [43] Khalid Asma, Anwar Sabieh, Anwar Siddiqi Saadat, Energy dispersive X-ray fluorescence (EDXRF) for studying coinage from the Indo-Pak subcontinent, (2011).
- [44] A.A. Shaltout, S.K. Hassan, A.G. Karydas, Z.I. Zaki, N.Y. Mostafa, P. Kregsamer, P. Wobrauschek, C. Streli, Comparative elemental analysis of fine particulate matter (PM 2.5) from industrial and residential areas in Greater Cairo-Egypt by means of a multi-secondary target energy dispersive X-ray fluorescence spectrometer, *Spectrochim Acta Part B At Spectrosc*. 145 (2018) 29–35. <https://doi.org/10.1016/j.sab.2018.04.003>.
- [45] T.S. Almeida, M.O. Sant’Ana, J.M. Cruz, L. Tormen, V.L.A. Frescura Bascuñan, P.A. Azevedo, C.A.B. Garcia, J. do P.H. Alves, R.G.O. Araujo, Characterisation and source identification of the total airborne particulate matter collected in an urban area of Aracaju, Northeast, Brazil, *Environmental Pollution*. 226 (2017) 444–451. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.04.018>.
- [46] C. Douvris, T. Vaughan, D. Bussan, G. Bartzas, R. Thomas, How ICP-OES changed the face of trace element analysis: Review of the global application landscape, *Science of The Total Environment*. 905 (2023) 167242. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167242>.
- [47] E.J. dos Santos Souza, C. Zapata Mora, B.H. Aristizábal Zuluaga, C.D. Britto do Amaral, M.T. Grassi, Multi-elemental analysis of particulate matter PM2.5 and PM10 by ICP OES, *Talanta*. 221 (2021) 121457. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2020.121457>.
- [48] D. Zhang, H. Li, X.-S. Luo, W. Huang, Y. Pang, J. Yang, M. Tang, T. Mehmood, Z. Zhao, Toxicity assessment and heavy metal components of inhalable particulate matters (PM2.5 & PM10) during a dust storm invading the city,

- Process Safety and Environmental Protection. 162 (2022) 859–866. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2022.04.065>.
- [49] R. Rostami, M.E. Kalan, H.R. Ghaffari, B. Saranjam, K.D. Ward, H. Ghobadi, Y. Poureshgh, M. Fazlzadeh, Characteristics and health risk assessment of heavy metals in indoor air of waterpipe cafés, *Build Environ.* 190 (2021) 107557. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107557>.
- [50] A. Limbeck, C. Wagner, B. Lendl, A. Mukhtar, Determination of water soluble trace metals in airborne particulate matter using a dynamic extraction procedure with on-line inductively coupled plasma optical emission spectrometric detection, *Anal Chim Acta.* 750 (2012) 111–119. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2012.05.005>.
- [51] V.L. Mateus, I.L.G. Monteiro, R.C.C. Rocha, T.D. Saint’Pierre, A. Gioda, Study of the chemical composition of particulate matter from the Rio de Janeiro metropolitan region, Brazil, by inductively coupled plasma-mass spectrometry and optical emission spectrometry, *Spectrochim Acta Part B At Spectrosc.* 86 (2013) 131–136. <https://doi.org/10.1016/j.sab.2013.03.003>.
- [52] A. Luiza Fernandes Seares, M. de Oliveira Souza, V. Lionel-Mateus, C.M.S. De Almeida, Optimization of operational ICP OES parameters and application to PM10 monitoring associated to sugarcane burning, *Microchemical Journal.* 163 (2021) 105917. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2020.105917>.
- [53] R. Rojano, A.M. Vengoechea, H.A. Arregocés, Indoor/outdoor relationship of particulate matter (PM10) and its chemical composition in a coastal region of Colombia, *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering.* 8 (2023) 100397. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2023.100397>.
- [54] M. Zhi, K. Zhang, X. Zhang, H. Herrmann, J. Gao, K.W. Fomba, W. Tang, Y. Luo, H. Li, F. Meng, A statistic comparison of multi-element analysis of low atmospheric fine particles (PM2.5) using different spectroscopy techniques, *Journal of Environmental Sciences.* 114 (2022) 194–203. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2021.08.034>.
- [55] E. Carlos Alexandrina, D. Victor Babos, D. Fernandes Andrade, V. Câmara Costa, E. Schornobay Lui, N. Aparecido Corrêa, M. Lopes Aguiar, E. Rodrigues Pereira-Filho, Particulate matter (PM10) from São Carlos-SP (Brazil): spectroanalytical techniques to evaluate and determine chemical elements, *Int J*

- Environ Anal Chem. 99 (2019) 653–669.
<https://doi.org/10.1080/03067319.2019.1608977>.
- [56] A. Mukhtar, A. Limbeck, Development of an ETV-ICP-OES procedure for assessment of bio-accessible trace metal fractions in airborne particulate matter, *J Anal At Spectrom.* 26 (2011) 2081. <https://doi.org/10.1039/c1ja10125k>.
- [57] A. Mukhtar, A. Limbeck, A new approach for determination of crustal and trace elements in airborne particulate matter, *Int J Environ Anal Chem.* 92 (2012) 496–508. <https://doi.org/10.1080/03067319.2011.620709>.
- [58] L.M.B. Ventura, B.S. Amaral, K.B. Wanderley, J.M. Godoy, A. Gioda, Validation Method to Determine Metals in Atmospheric Particulate Matter by Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry, *J Braz Chem Soc.* (2014). <https://doi.org/10.5935/0103-5053.20140142>.
- [59] IBGE, Dados do Censo 2022 para Itapetinga-BA., (2022). <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ba/itapetinga.html> (accessed November 9, 2023).
- [60] Prefeitura Municipal de Itapetinga, Informações sobre Itapetinga, (n.d.). <http://www.itapetinga.ba.gov.br/cidade/> (accessed November 9, 2023).
- [61] N. Menzel, P. Schramel, K. Wittmaack, Elemental composition of aerosol particulate matter collected on membrane filters: A comparison of results by PIXE and ICP-AES, *Nucl Instrum Methods Phys Res B.* 189 (2002) 94–99. [https://doi.org/10.1016/S0168-583X\(01\)01013-8](https://doi.org/10.1016/S0168-583X(01)01013-8).
- [62] S.M. Enamorado-Báez, J.M. Gómez-Guzmán, E. Chamizo, J.M. Abril, Levels of 25 trace elements in high-volume air filter samples from Seville (2001–2002): Sources, enrichment factors and temporal variations, *Atmos Res.* 155 (2015) 118–129. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2014.12.005>.
- [63] J. Hu, C.Q. Liu, G.P. Zhang, Y.L. Zhang, Seasonal variation and source apportionment of PAHs in TSP in the atmosphere of Guiyang, Southwest China, *Atmos Res.* 118 (2012) 271–279. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2012.07.015>.
- [64] V. Shalini, K. Narasimhulu, K. Raja Obul Reddy, G. Balakrishnaiah, K. Rama Gopal, T. Lokeswara Reddy, T. Chakradhar Rao, B. Elijabetthamma, C.

- Manjunatha, R. Ramakrishna Reddy, Chemical characterization and source identification of particulate matter at Ballari (15.15°N, 76.93°E), Karnataka over Southern Indian region, *J Atmos Sol Terr Phys.* 200 (2020) 105192. <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2020.105192>.
- [65] Y. Lin, X. Zhang, Y. Sun, Z. Cai, F. Fu, Soluble arsenic species in total suspended particles and their health risk and origin implication: A case study in Taiyuan, China, *Science of The Total Environment.* 807 (2022) 150791. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150791>.
- [66] C. Gonçalves, B.R. Figueiredo, C.A. Alves, A.A. Cardoso, R. da Silva, S.H. Kanzawa, A.M. Vicente, Chemical characterisation of total suspended particulate matter from a remote area in Amazonia, *Atmos Res.* 182 (2016) 102–113. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2016.07.027>.