



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
REGIONAL CATALÃO
UNIDADE ACADÊMICA ESPECIAL DE QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA



**ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA E TOXICIDADE DO MATERIAL
PARTICULADO (MP₁₀) NO AR ATMOSFÉRICO EM CATALÃO - GO**

NARA LINE DA SILVA SOUSA

Bolsa FAPEG

CATALÃO – GO

Abril/2018

**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR
VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES E DISSERTAÇÕES
NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG**

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico: Dissertação Tese

2. Identificação da Tese ou Dissertação:


Nome completo do autor: Nara Line da Silva Sousa

Título do trabalho: ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA E TOXICIDADE DO MATERIAL PARTICULADO (MP₁₀) NO AR ATMOSFÉRICO EM CATALÃO - GO

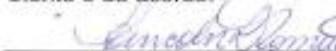
3. Informações de acesso ao documento:

Concorda com a liberação total do documento SIM NÃO¹

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF da tese ou dissertação.


Assinatura do(a) autor(a)²

Ciente e de acordo:


Assinatura do(a) orientador(a)²

Data: 17 / 05 / 2018

¹ Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Os dados do documento não serão disponibilizados durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

² A assinatura deve ser escaneada.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS – REGIONAL CATALÃO
UNIDADE ACADÊMICA ESPECIAL DE QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA

**ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA E TOXICIDADE DO MATERIAL
PARTICULADO (MP₁₀) NO AR ATMOSFÉRICO EM CATALÃO - GO**

Nara Line da Silva Sousa

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Química da Universidade Federal de Goiás – Regional Catalão como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Química.

Orientador: Prof. Dr. Lincoln Lucilio Romualdo.

CATALÃO – GO

Abril/2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Sousa, Nara Line da Silva
Análise físico-química e toxicidade do material particulado (MP10) no ar atmosférico em Catalão-GO [manuscrito] / Nara Line da Silva Sousa. - 2018.
IV, 72 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Lincoln Lucilio Romualdo.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Unidade Acadêmica Especial de Física e Química, Catalão, Programa de Pós Graduação em Química, Catalão, 2018.

Bibliografia. Anexos.
Inclui mapas, fotografias, abreviaturas, gráfico, tabelas, lista de figuras, lista de tabelas.

1. Poluição atmosférica. 2. Qualidade do ar. 3. Material particulado. 4. Saúde pública. 5. Toxicidade. I. Romualdo, Lincoln Lucilio , orient. II. Título.

Relatório de Defesa de Dissertação
Candidata: **Nara Line da Silva Sousa**

Aos 23/04/2018 às 08:00 horas, realizou-se na Universidade Federal de Goiás – Regional Catalão nas formas e termos do Regimento Interno do Programa de Pós-Graduação em Química a Defesa de Dissertação de Mestrado sob o título: “**Caracterizações físico-químicas e análise citotóxica do MP₁₀ presentes no ar atmosférico em Catalão-GO**” apresentada pela candidata: **Nara Line da Silva Sousa**. Ao final dos trabalhos a banca examinadora reuniu-se em sessão reservada para o julgamento tendo os membros chegado ao seguinte resultado:

| Participantes da Banca: | Função | Instituição |
|--------------------------------------|------------|---------------|
| Prof. Dr. Lincoln Lucílio Romualdo | Presidente | UFG – Catalão |
| Profa. Dra. Sílvia de Sousa Freitas | Titular | UFG – Catalão |
| Prof. Dr. Antover Panazzolo Sarmento | Titular | UFG – Catalão |

Resultado Final: Aprovada.

Parecer da Comissão Julgadora:

A comissão sugere modificações na redação da dissertação, pois identificou severos erros de gramática e nos dados experimentais.

Encerrada a sessão reservada, a presidente informou ao público presente o resultado. Nada mais havendo a tratar, a sessão foi encerrada e, para constar eu João Pedro Rocha de Carvalho, representante do Programa de Pós-Graduação em Química lavrei o presente relatório que será assinado por mim e pelos membros da banca examinadora.

Prof. Dr. Lincoln Lucílio Romualdo

Profa. Dra. Sílvia de Sousa Freitas

Prof. Dr. Antover Panazzolo Sarmento

João Pedro Rocha de Carvalho
Representante do PPG João Pedro Rocha de Carvalho
Assistente em Administração

() Não houve alteração no título. (X) Houve. O novo título passa a ser:

Análise físico-química e toxicidade do material particulado (MP₁₀) no ar atmosférico em Catalão-GO

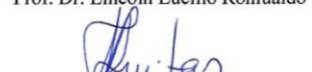


Serviço Público Federal
Ministério da Educação
Universidade Federal de Goiás – Regional Catalão
Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Química

Assinatura dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a defesa de Dissertação de Mestrado da candidata Nara Line da Silva Sousa realizada em 23 de Abril de 2018.



Prof. Dr. Lincoln Lucílio Romualdo



Profa. Dra. Sílvia de Sousa Freitas



Prof. Dr. Antover Panazzolo Sarmento

Dedico este trabalho a meus pais, José e Lucia,
e aos meus irmãos, Nábia e Luiz Gustavo, pela
compreensão, paciência e apoio.

AGRADECIMENTOS

Acima de tudo, a Deus, obrigada pela vida.

Aos meus pais, José e Lúcia, pelo amor, compreensão, força, dedicação e por acreditarem em mim. Agradeço grandiosamente pelo incentivo e apoio.

A meus irmãos, Nábia e Luiz Gustavo, e sobrinho Bernardo pelo amor, força e paciência.

Aos meus amigos Carol, Fran, Raphael, Jordana, Allan, Marcos, Istar, Fernanda, Thiago, Yagly, Renan, Jhean, Francis e Khaico. Muito obrigada por compartilharem comigo esta etapa em minha vida, vocês tornaram o dia a dia mais leve. Obrigada pela amizade, incentivo, apoio e força durante a realização deste trabalho.

Aos colegas do grupo de pesquisa, Marcos, Fernanda e Istar, pela disposição em me ajudar, apoiar e pela amizade.

Ao Professor Lincoln pela confiança, orientação, paciência, apoio e dedicação nos diversos momentos durante a realização deste trabalho.

Aos professores e funcionários da Universidade Federal de Goiás – Regional Catalão.

Ao LABIM pelas análises, em especial, ao professor Geraldo Sadoyama, técnica Ana Lúcia e estagiário André.

À Prefeitura Municipal de Catalão, Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Catalão e ao Ministério Público do Estado de Goiás, pelo apoio financeiro para implantação e funcionamento da Estação de Monitoramento da Qualidade do Ar Atmosférico.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG) pela bolsa concedida.

Aos membros da banca examinadora por aceitarem o convite se dispondo a avaliar e contribuir com o trabalho.

E, finalmente, agradeço a todos que de alguma forma colaboraram para a conclusão desta etapa e realização deste trabalho.

MUITO OBRIGADA!

*Todos os nossos sonhos podem se tornar
realidade, se tivermos a coragem
persegui-los.*

Walt Disney

RESUMO

Muitos estudos demonstraram uma estreita relação entre a poluição atmosférica pelo material particulado (MP_{10}) e a deterioração da saúde humana, pois o material particulado pode conter uma variedade de componentes químicos e biológicos, além do seu tamanho influenciar diretamente na questão da saúde pública. Portanto, o conhecimento dos níveis de material particulado, bem como de sua composição, é importante para ações preventivas. Diante desta problemática, foi realizado o estudo do material particulado na cidade de Catalão – GO em dois lugares distintos, sendo: Regional Catalão da Universidade Federal de Goiás/UFG-RC e Centro; e para a coleta do MP_{10} foi utilizado o equipamento AGV MP_{10} . Foram estudadas 30 amostras coletadas entre agosto de 2017 e março de 2018, em períodos de 24 horas numa frequência de 6 dias. As concentrações do MP_{10} de ambos os lugares não ultrapassaram o estabelecido de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP_{10} diário, conforme Resolução 003/90 do CONAMA. Porém, para a recomendação da OMS, que estabelece $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, houve extrapolação no período seco para as amostras do equipamento localizado no Centro da cidade. Foi observada uma correlação entre as condições meteorológicas e as concentrações do material particulado, pois, conforme houve um aumento da pressão, temperatura e velocidade do vento houve uma elevação do MP e à medida que ocorreu o aumento da umidade a concentração diminuiu. Foram encontrados 13 elementos nos filtros através do uso do EDXRF, estes, por sua vez, foram associados às emissões veiculares e ressuspensão do ambiente de estudo. Foi realizado o estudo citotóxico dos filtros de ambos os locais, e se observou que existem microrganismos que se associam ao MP, porém, nos testes realizados eles não foram maléficos (tóxico) aos microrganismos de estudo, pois não houve halo de inibição, apenas o crescimento de microrganismos. Portanto, os resultados mostraram que a concentração do MP_{10} para a cidade de Catalão – GO está de acordo com a legislação brasileira, sendo assim, observa-se uma boa qualidade do ar. Contudo, este material particulado é pequeno o suficiente para penetrar no organismo e ser prejudicial à saúde humana, pois o mesmo possui metais e microrganismos que podem ter o efeito acumulativo no organismo.

Palavras - chave: Poluição atmosférica, qualidade do ar, material particulado, saúde pública, toxicidade.

ABSTRACT

Many studies have shown a close relationship between air pollution by particulate matter (PM₁₀) and deterioration of human health. Because the particulate matter can contain a variety of chemical and biological components, in addition to its size directly influence the public health issue. Therefore, knowledge of particulate matter levels, as well as their composition, is important for preventive actions. In view of this problem, the study of the particulate material in the city of Catalão - GO was carried out in two different places (UFG-RC and Centro), and for the PM₁₀ collection the AGV PM₁₀ was used. We studied 30 samples collected between August 2017 and March 2018, in periods of 24 hours at a frequency of 6 days. The concentrations of PM₁₀ of both sites did not exceed the established of 150 µg.m³ of PM₁₀ daily, according to Resolution 003/90 of CONAMA. However, for the WHO recommendation setting 50 µg.m³, there was extrapolation in the dry period for samples of equipment located in the city center. A correlation was observed between the meteorological conditions and the concentrations of the particulate material, because, as there was an increase in the pressure, temperature and wind speed, there was an increase in the PM and as the humidity increased, the concentration decreased. We found 13 elements in the filters through the use of EDXRF, which in turn, were associated with vehicular emissions and resuspension of the study environment. The cytotoxic study of the filters from both sites was performed, and it was possible to observe that there are microorganisms associated with the PM, but in the tests performed they were not harmful (toxic) to the microorganisms studied, since there was no halo of inhibition and there was growth of microorganisms. Therefore, the results showed that the concentration of PM₁₀ for the city of Catalão - GO is in accordance with Brazilian legislation, thus, it presents good air quality. However, this particulate matter is small enough to penetrate the body and is harmful to human health because it has metals and microorganisms that may have a cumulative effect on the body.

Keywords: Air pollution, air quality, particulate matter, public health, toxicity.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| FIGURA 1.1: Regiões onde ocorre a deposição do material particulado. | 11 |
| FIGURA 3.1: Amostrador de grande volume para partículas de até 10 µm e a cabeça de separação (respectivamente). | 21 |
| FIGURA 3.2: Cidade de Catalão - Goiás. | 23 |
| FIGURA 3.3: Estação de Monitoramento da Qualidade do Ar, instalado nas dependências da UFG-RC. | 24 |
| FIGURA 3.4: Vista aérea da UFG-RC, com indicação do local do equipamento..... | 24 |
| FIGURA 3.5: Estação de Monitoramento da Qualidade do Ar, instalado no Centro da cidade de Catalão – GO..... | 25 |
| FIGURA 3.6: Vista dos dois pontos de amostragem. | 25 |
| FIGURA 3.7: Exemplo da formação de halo sobre o filtro | 28 |
| FIGURA 3.8: Modelo de distribuição dos filtros na placa de Petri..... | 28 |
| FIGURA 3.9: Modelo de distribuição para placa Elisa..... | 29 |
| FIGURA 3.10: Interpretação de um diagrama de caixa (<i>boxplot</i>)..... | 30 |
| FIGURA 4.1: Concentração do MP ₁₀ comparado à resolução CONAMA 003/90 e OMS | 34 |
| FIGURA 4.2: Filtros amostrados na UFG-RC e Centro, respectivamente. | 35 |
| FIGURA 4.3: <i>Boxplot</i> das concentrações de MP ₁₀ da UFG-RC e Centro. | 36 |
| FIGURA 4.4: Concentração de MP ₁₀ e variação da pluviosidade ao longo da coleta. | 38 |
| FIGURA 4.5: Concentração de MP ₁₀ e variação da temperatura ao longo da coleta..... | 39 |
| FIGURA 4.6: Concentração de MP ₁₀ e variação da umidade ao longo da coleta. | 39 |
| FIGURA 4.7: Concentração de MP ₁₀ e variação da velocidade do tempo da coleta..... | 40 |
| FIGURA 4.8: Concentração de MP ₁₀ e variação da pressão atmosférica da coleta. | 41 |
| FIGURA 4.9: Gráficos de correlação da [MP ₁₀] com dados meteorológicos para a UFG-RC..... | 41 |
| FIGURA 4.10: Gráficos de correlação da [MP ₁₀] com dados meteorológicos para o Centro. | 43 |
| FIGURA 4.11: Rosa dos ventos nos dias de amostragem para cada mês..... | 44 |
| FIGURA 4.12: Variação temporal de silício. | 48 |
| FIGURA 4.13: Variação temporal elementar (Ba, K, Al, Zn e Ca) do MP ₁₀ – Centro. | 49 |
| FIGURA 4.14: Variação temporal elementar (Mg, Fe, Sr, Cu, S, Zr e P) do MP ₁₀ – Centro..... | 49 |
| FIGURA 4.15: Variação temporal elementar (Ba, K, Al, Zn, Ca e Mg) do MP ₁₀ – UFG-RC. | 50 |
| FIGURA 4.16: Variação temporal elementar (Fe, Sr, Cu, S, Zr e P) do MP ₁₀ – UFG-RC. | 51 |
| FIGURA 4.17: Placas de Petri após crescimento das bactérias (UFG-RC)..... | 53 |
| FIGURA 4.18: Placas de Petri após crescimento das bactérias (Centro). | 54 |
| FIGURA 4.19: Placa de petri sem esterilização dos filtros da UFG-RC e Centro, respectivamente | 54 |
| FIGURA 4.20: Teste na placa de Elisa com o resultado após inoculação. | 55 |
| FIGURA A: Planilha para cálculo da concentração do MP ₁₀ | 72 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| TABELA 1.1: Recomendações da OMS para MP_{10} e $MP_{2,5}$ | 14 |
| TABELA 1.2: Padrões nacionais da qualidade do ar. | 15 |
| TABELA 1.3: Níveis de atenção, alerta e emergência para o MP_{10} | 16 |
| TABELA 1.4: Padrões de qualidade do ar no Estado de Goiás. | 17 |
| TABELA 1.5: Padrões de qualidade do ar na cidade de Catalão – GO. | 17 |
| TABELA 3.1: Coeficientes de correlação..... | 31 |
| TABELA 4.1: Estatística descritiva. | 36 |
| TABELA 4.2: Parâmetros estatísticos do teste de correlação de Pearson, dados UFG-RC. | 42 |
| TABELA 4.3: Parâmetros estatísticos do teste de correlação de Pearson, dados Centro..... | 43 |
| TABELA 4.4: Resultado da análise em EDXRF do filtro em branco..... | 47 |
| TABELA 4.5: Variação do percentual de Si em ambos locais..... | 48 |
| TABELA 4.6: Análise do MP solto..... | 51 |
| TABELA 4.7: Descreve e classifica o teste de toxicidade da amostra..... | 53 |

LISTA DE ABREVIATURAS

| | |
|----------------------|---|
| AGV MP ₁₀ | Amostrador de Grande Volume para partículas de até 10 µm |
| CETESB | Companhia Ambiental do Estado de São Paulo |
| CONAMA | Conselho Nacional do Meio Ambiente |
| COVs | Compostos Orgânicos Voláteis |
| DNA | Ácido Desoxirribonucleico |
| HAP | Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos |
| EDXRF | Espectrometria de Fluorescência de Raios X por Energia Dispersiva |
| GO | Goiás |
| IARC | Agência Internacional de Pesquisa sobre o Câncer |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| INMET | Instituto Nacional de Meteorologia |
| LABIM | Laboratório de Bioquímica e Microbiologia |
| LC-RX | Laboratório de Caracterização por Raios X |
| MP | Material Particulado |
| MP ₁₀ | Material Particulado de diâmetro aerodinâmico igual ou menor que 10 µm |
| MP _{2,5} | Material Particulado de diâmetro aerodinâmico igual ou menor que 2,5 µm |
| OMS | Organização Mundial da Saúde |
| PTS | Partículas Totais em Suspensão |
| SEMMAC | Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Catalão |
| UFG – RC | Universidade Federal de Goiás – Regional Catalão |

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| CAPÍTULO 1 | 1 |
| 1 – INTRODUÇÃO | 2 |
| 1.1 - CONCEITUAÇÃO DO TEMA..... | 2 |
| 1.2 - POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA..... | 3 |
| 1.2.1 - MATERIAL PARTICULADO | 3 |
| 1.2.2 – TOXICIDADE | 7 |
| 1.3 - POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA E SAÚDE HUMANA | 9 |
| 1.4 - CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS..... | 13 |
| 1.5 - LEGISLAÇÃO | 14 |
| 1.5.1 – LEGISLAÇÃO MUNDIAL..... | 14 |
| 1.5.2 – LEGISLAÇÃO NACIONAL..... | 14 |
| 1.5.3 – LEGISLAÇÃO ESTADUAL | 16 |
| 1.5.4 – LEGISLAÇÃO MUNICIPAL | 17 |
| CAPÍTULO 2 | 18 |
| 2 - OBJETIVOS..... | 19 |
| 2.1 - OBJETIVOS GERAIS | 19 |
| 2.2 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 19 |
| CAPÍTULO 3 | 20 |
| 3 - PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS | 21 |
| 3.1 – AMOSTRAGEM | 21 |
| 3.1.1 – AMOSTRADOR DE GRANDE VOLUME | 21 |
| 3.1.2 – LOCAL DE ESTUDO..... | 23 |
| 3.1.3 – PONTOS DE AMOSTRAGEM | 23 |
| 3.2 - ANÁLISE DO MP ₁₀ | 26 |
| 3.2.1 – ANÁLISE DA CONCENTRAÇÃO | 26 |
| 3.2.2 – ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO ELEMENTAR | 26 |
| 3.2.3 – ANÁLISE TOXICIDADE..... | 27 |
| 3.2.4 – ANÁLISE ESTATÍSTICA | 30 |
| CAPÍTULO 4 | 33 |
| 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 34 |
| 4.1- CONCENTRAÇÃO..... | 34 |
| 4.2 – CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS | 37 |
| 4.3 – COMPOSIÇÃO ELEMENTAR | 46 |
| 4.4 – TOXICIDADE..... | 52 |
| CAPÍTULO 5 | 56 |
| CONSIDERAÇÕES FINAIS | 56 |
| 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS | 57 |
| CAPÍTULO 6 | 59 |
| 6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 60 |
| ANEXO..... | 69 |

CAPÍTULO 1
INTRODUÇÃO

1 – INTRODUÇÃO

1.1 - CONCEITUAÇÃO DO TEMA

O crescimento industrial, a evolução tecnológica e o aumento populacional têm contribuído de maneira significativa para a degradação ambiental através da inserção de substâncias contaminantes no meio ambiente. Estas, por sua vez, afetam a saúde e a qualidade de vida das pessoas. Esses contaminantes são introduzidos principalmente através de emissões antropogênicas que podem interferir nos ciclos da natureza e contaminar o ar, os recursos hídricos e o solo (QUEIROZ; JACOMINO & MENEZES, 2007).

A queima de biomassa (material derivado de plantas ou animais) e as erupções vulcânicas são fontes naturais de poluição. As fontes antropogênicas surgiram a partir da Revolução Industrial, com novas formas de poluição do ar devido à queima de combustíveis fósseis pelos motores à combustão e pelas indústrias siderúrgicas, e, recentemente, pelos veículos automotivos, além de produtos químicos. Essa evolução não foi acompanhada de análises para avaliar seu impacto sobre o meio ambiente, a toxicidade de resíduos produzidos e os prováveis danos à saúde (CANÇADO et al., 2006).

A partir desta problemática, tem-se aumentado nos últimos anos a preocupação com a poluição do ar. Recentes estudos epidemiológicos indicam que o material particulado suspenso na atmosfera está associado a riscos à saúde pública com o aumento da incidência de doenças respiratórias, cardiovasculares, neurológicas e câncer, especialmente em crianças e idosos. Partículas suspensas no ar atmosférico, principalmente as de menor tamanho, podem ser inaladas até os alvéolos das vias inferiores dos pulmões, causando uma série de problemas, uma vez que essas partículas contêm metais pesados que são responsáveis por inúmeros efeitos à saúde e ao meio ambiente (KIM, 2013; SHAH & SHAHEEN-NAZIR, 2012; VELLINGIRI, 2015).

Os ecossistemas também são alvo dos impactos da poluição atmosférica, uma vez que a deposição destes poluentes nas plantas pode levar à redução de sua capacidade de fotossíntese, atrasar o tempo de floração, dentre outros. Esse processo de poluição também pode acidificar as águas das chuvas contaminando os recursos

hídricos, os biomas aquáticos e o solo (JACONIS, CULLEY & MEIER, 2016; SINGH, ELUMALAI & PAL, 2016).

De acordo com o CONAMA (1990), poluentes atmosféricos são quaisquer substâncias presentes no ar que sofreram alterações de suas características físicas, químicas e biológicas normais da atmosfera, e podem se tornar impróprios, nocivos ou ofensivos à saúde quando em concentrações alteradas, podendo causar inconveniente ao bem estar público, e danos à flora e à fauna.

Nesse sentido, compreende-se o quanto é importante acompanhar a qualidade do ar que respiramos, conseqüentemente, realizar o monitoramento do material particulado inalável e sua caracterização, pois, um aspecto importante na avaliação da relevância ambiental das partículas em suspensão é a caracterização de espécies químicas tóxicas a elas associadas, mesmo que a legislação não determine o seu monitoramento. Assim, esta se torna uma informação relevante para possíveis precauções relacionadas à saúde das pessoas.

1.2 - POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

1.2.1 - MATERIAL PARTICULADO

A poluição atmosférica é resultado de um conjunto de atividades antropogênicas e naturais juntamente com processos físicos e químicos que contribuem para a deterioração da qualidade do ar, gerando, assim, efeitos negativos à saúde humana e ao meio ambiente (MELO, 1997). Os principais poluentes do ar são os materiais particulados, metais, O₃, CO, SO_x, H₂S, gases ácidos (HF, HCl), NO_x, compostos orgânicos voláteis, solventes, pesticidas, metano, bioaerossóis e radionuclídeos (ALMEIDA-SILVA et al., 2011).

Na atmosfera, os poluentes se encontram nos três estados físicos da matéria: sólido, líquido e gasoso. Em estado sólido, tem-se a poeira e a fuligem, como líquidos tem-se a névoa e a neblina, e como aerossol cita-se um conjunto de partículas sólidas ou líquidas dispersas no ar (BRAGA et al, 2002).

O material particulado (MP) diz respeito às partículas sólidas ou líquidas em suspensão, que contêm uma variada gama de morfologia (tamanho/forma), composição química e origens. Portanto, trata-se de uma mistura complexa de substâncias orgânicas e inorgânicas, tais como: SO₄⁻², NO₃⁻, NH₄⁺ e H⁺, fuligem, cinzas,

partículas do solo, pólen e uma variedade de metais sob a forma de metais traço como, por exemplo, Pb, Hg, V, Cd, Cr etc., e elementos da crosta, tais como Fe, Ca, Si e Al. (BAIRD, 2002).

A composição varia de acordo com a localização e o tempo, e depende das fontes locais bem como daquele material particulado transportado de outro local (RUCKERL et al., 2011). O material particulado pode ser dividido em primário e secundário, sendo que as partículas primárias são formadas a partir de processos químicos e físicos, como ressuspensão de poeira de solo por ventos ou circulação de veículos, sal marinho, cinzas de combustão, erupções vulcânicas, enquanto as partículas secundárias são provenientes de atividades industriais e da queima de combustíveis fósseis.

O material particulado também é classificado pelo seu tamanho, o diâmetro aerodinâmico que varia de 0,001 a 100 μm , que, por sua vez, equivale ao diâmetro de uma esfera de densidade unitária com a mesma velocidade de sedimentação da partícula em estudo; essa propriedade regula o transporte da partícula no ar, bem como determina os efeitos sobre a saúde humana (WHO, 2005). Diante disso, observa-se que essa variação de tamanho está associada às fontes e composições.

Os órgãos que monitoram a qualidade do ar no Brasil classificam o material particulado em Partículas Totais em Suspensão (PTS) e em Partículas Inaláveis (MP_{10}).

As Partículas Totais em Suspensão (PTS) são aquelas cujo diâmetro aerodinâmico é igual ou maior que 50 μm , parte dessas partículas são inaláveis e podem causar problemas à saúde e outra parte pode afetar a qualidade de vida da população, interferindo também nas condições estéticas do ambiente (CONAMA, 1990).

As Partículas Inaláveis (MP_{10}) possuem diâmetro aerodinâmico igual ou menor que 10 μm , e ainda podem ser classificadas como: partículas inaláveis finas, que são aquelas iguais ou menores que 2,5 μm ($\text{MP}_{2,5}$), e partículas inaláveis grossas, com frações entre 2,5 a 10 μm (CONAMA, 1990).

Assim sendo, as PTS são geralmente constituídas por partículas primárias, e, devido ao seu tamanho, sedimentam-se rapidamente, portanto, espera-se que nessa fração se encontrem elementos provenientes do solo, sob a forma de alumina - silicatos e óxidos hidratados de ferro e elementos como Na, Mg, Al, Se, Cl, Ca, Sc, Ti, Fe, Ca e Sm (PAKKANEN et al., 2001).

A fração inalável é gerada a partir de processos de combustão, indústrias, veículos e partículas secundárias formadas por reações químicas na atmosfera, logo, espera-se a formação de gases inorgânicos como SO_2 e NH_3 e também gases de origem orgânica, nitratos, amônio, metais e material carbonáceo, marinhos (NaCl), elementos do solo (Al, Ca, Fe, Si, Ti), metais (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, V, Zn, dentre outros) e água. Devido ao seu tamanho elas não se sedimentam rapidamente na atmosfera, podendo permanecer por dias e até semanas em suspensão (ROCHA et al., 2009; SEINFELD, 1986; PAKKANEN et al., 2001).

Quanto às partículas inaláveis, as finas ($\text{MP}_{2,5}$) podem atingir os alvéolos pulmonares devido ao seu pequeno tamanho, e as grossas (MP_{10}) ficam retidas na parte superior do sistema respiratório. Diante de seu potencial risco à saúde, nos últimos anos tem-se estudado bastante o material particulado relacionado à saúde humana, com o objetivo de compreender as fontes, as concentrações e a composição química.

Nesse contexto, Xie (2005) e seus colaboradores realizaram um estudo do MP_{10} na China, onde foram encontradas 2300 partículas e 17 tipos de partículas; foram realizadas coletas de amostras durante 5 dias de julho de 2003, eles concluíram que a maioria dessas partículas foram provenientes de fontes antropogênicas, em especial, da indústria metalúrgica. Entre os anos de 1996 e 2002, Salma e Maenhaut (2006) realizaram o estudo da concentração de MP_{10} em Budapeste, eles observaram que a concentração dos elementos Pb, Br, S, As, Se e MP diminuiu, enquanto as concentrações de Sb, Cu, Zn, Fe, Ca, Cr e Ba aumentaram. Eles associaram a diminuição dos elementos Pb e Br à eliminação de Pb na gasolina, os elementos Cu e Sb ao desgaste dos freios de veículos rodoviários, e o Zn à abrasão de borracha dos pneus.

Na Índia, Karar e Gupta (2007) estudaram o MP_{10} , eles realizaram o monitoramento uma vez por semana em um local residual e outro industrial no período de novembro de 2003 a novembro de 2004; foram encontrados compostos HAP, fluoranteno, pireno benzoantraceno, benzofluoranteno e benzopireno e os metais Cr, Zn, Pb, Cd, Ni, Mn e Fe, que se depositaram nos filtros. Os autores concluíram que no local residual as possíveis fontes foram as descargas de resíduos sólidos, a emissão veicular, a combustão de carvão e a poeira do solo. E para o local industrial foram as emissões veiculares, a combustão de carvão, a indústria de galvanoplastia, o desgaste dos pneus e o aerossol secundário.

Também em 2007, Dongarra e colaboradores realizaram um estudo em Palermo na Itália, onde foi realizada a coleta de MP_{10} em diversos pontos da cidade,

resultando na caracterização de 17 elementos, como Al, As, Ba, Co, Cr, Cu, Fe, L, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Sr, U, V e Zn. Concluíram que os elementos Al e Fe apresentaram as maiores concentrações, e foram associados a partículas do solo. Os elementos Ba, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, V e Zn apresentaram maiores concentrações mais em locais urbanos do que suburbanos. Concluíram também que os elementos Mo, Cu, Cr, Sb, e Zn são provavelmente advindos de emissões de veículos automotores; os elementos Ba, As, Sb e Ni foram associados tanto a emissões de escape provenientes do tráfego rodoviário e de outros processos de combustão, como de incineradores ou usinas de aquecimento doméstico.

Em Izmir na Turquia, Yatkin e Bayra (2007) estudaram o MP_{10} e o $MP_{2,5}$ pelo período de junho de 2004 a maio de 2005, e encontraram uma maior concentração de MP no local urbano em comparação ao suburbano, e as concentrações também foram maiores no inverno do que no verão na área urbana, enquanto as concentrações de verão no local suburbano foram maiores no inverno. Foram determinados os elementos: Al, Ba, Cd, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Sr, V e Zn, que também mostraram variação temporal e local. Os resultados indicaram que os principais contribuintes para a concentração de material particulado foram as emissões do tráfego, da queima de combustíveis fósseis e indústrias e o solo.

Das et al. (2015) analisaram o MP_{10} e $MP_{2,5}$ em 16 locais na Kolkata, Índia Oriental. As amostragens foram realizadas no inverno de 2013-2014, e encontram concentrações extremamente elevadas, metais pesados, tóxicos e cancerígenos como Cr, Ni, Zn, Mo, Sn, Sb, V, Co, Cu, Cd e Pb, que se concentraram mais no $MP_{2,5}$. As concentrações de Fe, Na, Al, K e Ca também foram elevadas em ambos os MP e os elementos Ca, Al, Mg, Sc, Ti, Mn e Fe foram encontrados no MP_{10} . Em uma avaliação de risco, o elemento cromo foi definido como o de maior risco de causas de câncer, uma vez que o mesmo está associado ao $MP_{2,5}$, que pode ser inalado e transportado para os pulmões e, eventualmente, para a corrente sanguínea.

No Brasil, Mateus et al. (2013) estudaram o PTS e o $MP_{2,5}$ em uma região metropolitana do Rio de Janeiro, e, de acordo com seu estudo, as concentrações do PTS foram menores em local rural e a do $MP_{2,5}$ foi semelhante em áreas rurais e industriais.

Pacheco et al. (2017) realizaram um estudo em três áreas metropolitanas mais poluídas, sendo elas: São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte. Foram avaliados a frota de veículos, os tipos de combustíveis utilizados nos veículos rodoviários, suas

emissões e a concentração do $MP_{2,5}$ e do MP_{10} . Em São Paulo, foram encontradas as maiores concentrações para o $MP_{2,5}$ devido ao maior número de veículos à combustão, já o Rio de Janeiro apresentou altas concentrações de MP_{10} , o que foi explicado pela topografia local e a presença do complexo da Petrobrás e outras indústrias na região, e Belo Horizonte, por sua vez, possui o menor número de habitantes e veículos, logo, apresentou as médias mais baixas de $MP_{2,5}$.

Em uma área urbana de Aracaju, Almeida et al. (2017) avaliaram a composição do PTS presente na atmosfera. De acordo com seu estudo, os metais Fe, Mn, Ni e Ti são as principais fontes de ressuspensão do solo, o Cu é advindo do tráfego de veículos e o V da queima de combustíveis fósseis.

Passos et al. (2016) realizaram o estudo da concentração do PTS na cidade de Goiânia - Goiás durante os anos de 2013 a 2015 e, de acordo com seus estudos, a qualidade do ar está regular durante a maior parte do ano. Já em Uberlândia - MG Lima (2007) realizou o estudo da concentração e composição elementar do PTS e MP_{10} . Os resultados indicam que a concentração do PTS foi ultrapassada pelo padrão nacional, para o MP_{10} encontraram-se os elementos Al, Ca, K, Zn, e S e foram associados à ressuspensão do solo, à poluição veicular e da indústria.

Em 2015, Santos realizou o estudo do PTS, do MP_{10} e do $MP_{2,5}$ em Catalão - Goiás; seu estudo indicou que as concentrações estão de acordo com a legislação nacional e a composição elementar do material indicou ser proveniente de emissão veicular e da poeira ressuspensa do solo pela ação dos ventos. E, em 2017, Siqueira realizou o estudo somente do PTS para a mesma cidade, sendo que as concentrações ultrapassaram os padrões nacional e estadual mais de uma vez ao ano e os elementos Ba, Fe, Mn e Zn tiveram as maiores concentrações durante o estudo.

1.2.2 - TOXICIDADE

A contaminação atmosférica por material particulado é uma das principais preocupações relativas ao meio ambiente e à saúde, por isso, compreender a heterogeneidade e a complexidade do MP é uma questão fundamental, e entender sua concentração e composição é importante para avaliar seu comportamento toxicológico (LANDKOCZ et al., 2017).

Como já se sabe, o material particulado é composto por material orgânico, como os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, compostos inorgânicos

como íons e metais, carbono negro, elementos da crosta e biogênicos. Sendo assim, a atmosfera contém uma mistura de gases e partículas, incluindo os microrganismos (CAIXETA et al. 2016; HARRISON & YIN, 2000).

As partículas biológicas suspensas no ar são de origem natural ou antropogênica, podem ser formadas por pêlos de animais, poeiras de ácaro, pólen, bactérias, fungos, vírus e toxinas microbianas, que podem estar suspensas no ar como organismos individuais ou segregados em partículas de poeira ou pequenas gotas de água. Essas partículas com origens biológicas podem ser transportadas juntamente com as correntes de ar na atmosfera, portanto, assim como as concentrações de MP essas partículas podem ser influenciadas por condições meteorológicas, podendo ser removidas do ar por sedimentação ou precipitação (DESPRÉS, 2012; SIPPULA et al., 2013).

Esses bioaerossóis, que são fungos, vírus, bactérias, esporos e polens, tendem a se unir na fração mais grossa do MP, porém, também podem ser encontrados na fração fina devido ao mecanismo de reação entre os agentes biológicos e o MP, uma vez que as partículas de origem biológica podem corresponder de 22 a 30% do particulado total e 5 a 10% do material ressuspensado. E, ainda, de acordo com Bauer et al. (2008), os fungos podem representar aproximadamente 5% do MP₁₀ em locais urbanos e suburbanos.

Esses microrganismos nos bioaerossóis não só influenciam diretamente a qualidade do ar e a propagação de doenças, mas também indiretamente o clima global e os processos atmosféricos, uma vez que podem ser transportados com o material particulado e terem suas dimensões aerodinâmicas modificadas, o que pode ser prejudicial à saúde, pois podem penetrar no pulmão (MORRIS et al., 2013).

Além disto, as condições meteorológicas podem ter uma variedade de efeitos sobre as concentrações destes bioaerossóis, pois a umidade do ar e a temperatura influenciam no crescimento das partículas (JONES e HARRISON, 2004).

Em 2012, na Arábia Saudita, Alghamdi (2014) e seus colaboradores estudaram os microrganismos associados ao MP₁₀ e MP_{2,5}. Observaram que as concentrações dos microrganismos associados ao material particulado foram baixas, não tendo correlação com as concentrações de massa do material particulado, e que as concentrações dos microrganismos associados ao MP variam conforme as condições meteorológicas e ambientais, sendo que a velocidade do vento ajuda na sobrevivência dos microrganismos no ar e ajuda a diluir o material particulado.

No estudo realizado por Inal et al. (2010) foi demonstrada uma relação entre a concentração de fungos e o aumento de crises de asma e rinite. Watanabe et al. (2016) observaram que os fungos livres podem estar associados à disfunção pulmonar em crianças, além disso, crianças com asma podem apresentar maior disfunção pulmonar em relação às aquelas sem asma.

Innocente et al. (2017) realizaram o estudo da relação entre as populações bacterianas, a composição química do MP e as condições ambientais em dois lugares da Europa. Em Veneza, as bactérias eram influenciadas pelo vento local, e em Milão, devido ao vento mais fraco, as espécies de bactérias pareciam ser mais influenciadas pelo transporte de longo alcance.

1.3 - POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA E SAÚDE HUMANA

A poluição atmosférica representa o maior risco ambiental à saúde humana, de acordo com a OMS (2016), em 2012, aproximadamente três milhões de mortes foram atribuídas à poluição atmosférica externa (ao ar livre), e cerca de uma a cada nove mortes por ano é provocada pela poluição do ar.

Inúmeros estudos têm relatado a relação entre a poluição atmosférica e os problemas de saúde nos seres humanos. Esses danos à saúde humana são provocados, majoritariamente, pelo material particulado inalável ($MP_{10}/MP_{2,5}$), pois seu pequeno tamanho pode atingir as estruturas mais profundas do sistema respiratório, influenciando as funções biológicas, uma vez que possui toxinas como compostos orgânicos voláteis (COVs), hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HPA) e metais pesados, que podem afetar o funcionamento adequado de tal sistema. Órgãos como pulmão e coração, células e DNA podem ser danificados por essas toxinas (CAZIER et al., 2011).

De acordo com Ogundele et al. (2017), os metais pesados representam cerca de 10% da massa de material particulado, são as toxinas mais antigas conhecidas pelos seres humanos, tendo potencial carcinogênico, bem como toxicidade direta. As fontes de metais pesados incluem incêndios florestais, atividades de construção, demolição, mineração e processamento de minerais, atividades agrícolas, poeira soprada pelo vento e poeira de estrada e atividades de transporte relacionadas.

A exposição crônica a metais pesados e metaloides, mesmo que em níveis baixos, pode causar efeitos adversos à saúde, como doença pulmonar, defeitos

ósseos, cancro de pulmão, danos ao fígado, diminuição da função pulmonar, constrição das vias aéreas e dificuldades respiratórias. Estes efeitos adversos para a saúde têm sido associados a composições químicas e concentrações de material particulado, uma vez que esses metais não são degradáveis e podem se acumular nos tecidos e órgãos quando inalados ou ingeridos (CAO et al., 2015; MINGKUI; HAO, 2009).

Foram mostrados em estudos realizados por Brook (2008) que exposições em curto prazo (horas/dias) e em longo prazo (meses/anos) ao material particulado estão associadas a uma série de doenças cardiovasculares, como isquemia miocárdica e infartos, insuficiência cardíaca, arritmias, derrames e aumento da mortalidade cardiovascular. Yanjun et al. (2011) e Yang et al. (2016) estimaram que diferentes tamanhos de material particulado podem influenciar doenças cardiovasculares, tendo em vista que foi encontrada uma associação significativa entre o $MP_{2,5}$ e a mortalidade cardiovascular e respiratória diária.

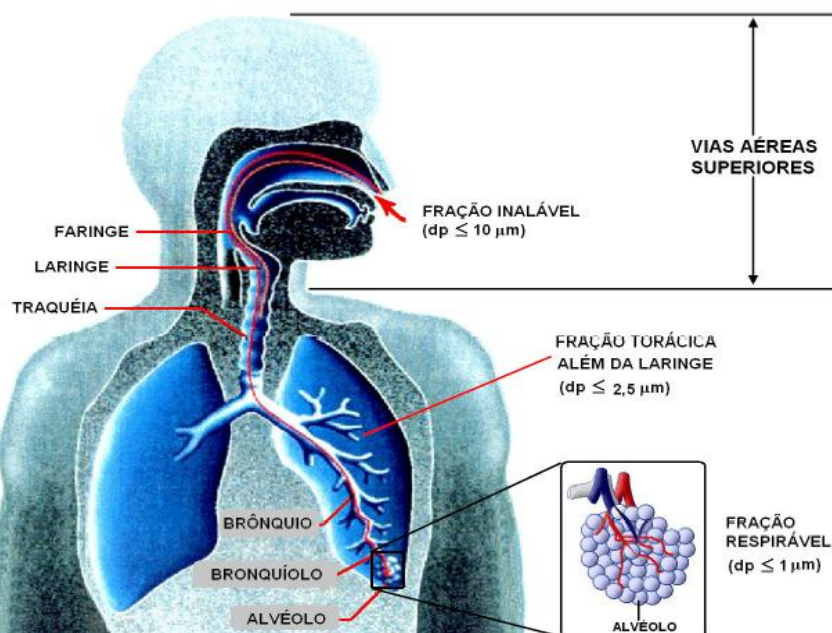
Em um estudo similar realizado por Li et al. (2013) eles sugeriram que a exposição a partículas de $MP_{2,5}$ poderia provocar a calcificação vascular, promovendo o estresse oxidativo vascular e respostas inflamatórias; Siponen et al. (2015) e colaboradores sugeriram que o $MP_{2,5}$, a partir de fontes como a combustão de biomassa e do tráfego, são os promotores de inflamação sistêmica podendo provocar doenças cardiovasculares. De acordo com Schewarze et al. (2007), as partículas grossas (MP_{10}) podem induzir respostas inflamatórias tão fortes como as partículas finas ($MP_{2,5}$), sendo que, em seu estudo, as respostas alérgicas tenderam a estar associadas à fração orgânica (HAP) das partículas, enquanto as reações inflamatórias estavam associadas aos metais e endotoxinas.

Para Abelsohn e Srieb (2011), a exposição a poluentes atmosféricos tanto ao ar exterior quanto interior podem provocar diversas doenças respiratórias, sintomas alérgicos e asma em crianças. Morgenstern et al. (2008) descobriram que a exposição a partículas menores de $MP_{2,5}$ afeta significativamente a bronquite asmática e Hwang e Lee (2010) relataram em seus estudos que quando expostos ao $MP_{2,5}$ surgiram sintomas bronquíticos, tosse crônica, fleuma crônica e bronquite. Já no estudo de Laurent et al. (2008), a asma está positivamente relacionada à exposição ao MP_{10} , e, para Nastos et al. (2010), a concentração de MP_{10} ao ar livre está associada à taxa de admissão de crianças para asma em Atenas, na Grécia.

De acordo com Kim et al. (2015), o local de deposição do material particulado exerce uma grande influência nas doenças do sistema respiratório. Sendo

assim, à medida que o tamanho das partículas diminui ocorre uma profunda penetração no sistema respiratório. A Figura 1.1 ilustra como o MP tem acesso ao pulmão.

FIGURA 1.1: Regiões onde ocorre a deposição do material particulado.



Fonte: Kim et al., 2015.

Os compostos orgânicos voláteis emitidos por fontes de combustão, materiais de construção e fumo de tabaco podem afetar o sistema respiratório e desenvolver reações alérgicas. Rumchev et al. (2004) relataram que a exposição ao COVs aumentou o risco de asma, Penard-Morand et al. (2010) descobriram que a exposição a COVs está positivamente associada ao risco de asma vitalícia em crianças. Kim et al. (2013) também descobriram que a exposição a concentrações elevadas de COVs resulta em níveis aumentados de imunoglobulina E (IgE), ocorrência de sibilos e desenvolvimento de asma.

Há evidências crescentes de que a poluição atmosférica vem afetando o cérebro, de acordo com Gao et al. (2017), fatores biofísicos e meteorológicos podem causar alterações nos neurotransmissores cerebrais e eventualmente levar a alterações mentais e comportamentais. Em amostras de cérebro humano pós-morte foi encontrado material particulado, e alguns componentes da poluição do ar, como o manganês, têm sido associados à patologia do sistema nervoso central, sendo que níveis elevados deste

metal estão correlacionados com o aumento do risco de doenças de Parkinson (BLOCK et al., 2012).

Heusinkveld et al. (2016) realizaram um estudo sobre as doenças de Alzheimer e Parkinson relacionadas a fatores ambientais. Em sua pesquisa epidemiológica identificaram que o material particulado é um dos fatores ambientais potenciais envolvidos na patogênese dessas doenças, tendo em vista que partículas ultrafinas e nanopartículas são capazes de ir além do sistema respiratório. A partir de estudos experimentais com roedores, eles perceberam que nanopartículas entraram através do epitélio olfatório do nariz ou através da captação na circulação. Portanto, a poluição do ar tem sido associada a vários problemas de saúde, incluindo estresse oxidativo e neuroinflamação, que podem resultar em neurodegeneração e prejuízo cognitivo.

Maher et al. (2016) encontraram em cérebro humano nanopartículas de ferro (magnetita) resultantes da poluição do ar, segundo o estudo, estas nanopartículas podem desenvolver doenças como a de Alzheimer e surgem derivadas da combustão, ricas em ferro, frequentemente associadas a outras partículas de metal de transição, que se condensam e/ou oxidam após a liberação no ar.

Recentemente, em estudos realizados por Raaschou-Nielsen et al. (2016), foi relatado que os materiais particulados MP_{10} e $MP_{2,5}$ estão associados ao desenvolvimento de câncer no pulmão. Yanagi (2010) correlacionou o MP_{10} com a incidência de alguns tipos de câncer (pulmão, tireóide, laringe e bexiga) e com a mortalidade por câncer de pulmão em alguns períodos na cidade de São Paulo. Para Lynch et al. (2016), o escape de gasolina e diesel é mutagênico e os hidrocarbonetos aromáticos policíclicos são genotóxicos, esses fatores podem provocar câncer de pulmão. Raaschou-Nielsen et al. (2016) afirmam que o câncer de pulmão está associado aos componentes existentes no material particulado como S e Ni e, de acordo com a Agência Internacional de Pesquisa sobre o Câncer (IARC, 2012), compostos como As, Be, Cd, Cr, e Ni são cancerígenos para humanos.

A exposição ao bioaerossol tem sido associada a efeitos adversos para a saúde, incluindo doenças infecciosas, efeitos tóxicos agudos, alergias e câncer. Em 2010, Inal et al., em seus estudos, demonstraram uma relação entre a concentração de fungos e o aumento de crise de asma e rinite em indivíduos sensíveis.

A OMS (2015) estima que a exposição ao MP_{2,5} causou cerca de 3,7 milhões de mortes em todo o mundo no ano de 2012, sendo que 88% destas ocorreram em países de baixa e média renda.

1.4 - CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS

Evidencia-se que ocorre uma variabilidade no tamanho e nas concentrações médias do material particulado, essas variações estão diretamente ligadas às condições meteorológicas. Condições essas que são parâmetros meteorológicos relacionados à formação e à dispersão de poluentes como: direção e velocidade dos ventos, pressão atmosférica, temperatura, umidade e precipitação (BARRY & CHORLEY, 2012).

Os poluentes são dispersos pela velocidade e pela direção dos ventos. Ressalte-se que o vento que se move no sentido horizontal consiste na movimentação do ar atmosférico. Sendo assim, a velocidade e a direção dos ventos afeta diretamente a concentração dos poluentes, além de informar a direção das massas de poluentes do ar. Outro fator é a topografia, pois a irregularidade natural e a artificial afetam a circulação do ar, gerando instabilidade e alteração na velocidade do vento (BRITO, 2005; VIEIRA, 2006).

A precipitação pluviométrica realiza uma limpeza dos poluentes existentes na atmosfera, fazendo o material particulado decantar e gases poluentes diluírem. Um estudo realizado por Comim (2012) revela que no período chuvoso as concentrações de particulados tenderam a diminuir, pois as chuvas ajudam a dispersar os poluentes e a decantar os particulados, resultando na diminuição da concentração.

Umidade é o vapor de água que é retido pelo ar através de ciclos evaporantes como a água, o solo, as plantas, a transpiração e a evapotranspiração. A umidade relativa do ar e a temperatura influenciam na concentração das partículas atmosféricas. Para Reinikainen e Jaakkola (2003), o aumento da umidade do ar e a diminuição da temperatura aliviam problemas nasais como congestão e ressecamento nasal.

Para Jardim (2011), a pressão atmosférica é o peso do ar sobre a superfície terrestre, sendo assim, trata-se da massa da atmosfera e a força gravitacional, que está sujeita a variações horárias, diárias e semanais.

De acordo com a CETESB (2017), a inversão térmica é uma camada de ar quente que se sobrepõe a uma camada de ar frio, impedindo que o ar frio suba e permaneça próximo ao solo, tornando-o mais denso. Em decorrência desse fato, os gases e partículas poluentes ficam nas proximidades do solo e, conseqüentemente, aumentam suas concentrações e favorecem reações fotoquímicas.

1.5 - LEGISLAÇÃO

1.5.1 – LEGISLAÇÃO MUNDIAL

A poluição atmosférica afeta todas as regiões, grupos socioeconômicos e etários, porém, existem diferenças geográficas importantes no que se refere à exposição à poluição do ar. De acordo com o relatório publicado em 2016 pela OMS (Organização Mundial de Saúde), a África e a Ásia possuem níveis elevados de poluentes atmosféricos.

Diante disso, a OMS estabelece diretrizes de qualidade do ar que visam proteger a saúde pública em diferentes contextos. No entanto, ela recomenda a adoção de normas e padrões, com a intenção de servirem como subsídio aos gestores ambientais de cada país, proporcionando uma maior proteção do ser humano frente aos efeitos dos poluentes atmosféricos. Desta feita, cada país deve estabelecer seus próprios padrões de qualidade do ar em função de suas especificações (WHO, 2005). A Tabela 1.1 ilustra as recomendações da OMS.

TABELA 1.1: Recomendações da OMS para MP₁₀ e MP_{2,5}.

| Poluente | Concentração (µg/m³) | Período de Amostragem |
|-------------------|--|------------------------------|
| MP ₁₀ | 20 | Média Anual |
| | 50 | 24 horas |
| MP _{2,5} | 10 | Média Anual |
| | 25 | 24 horas |

Fonte: WHO (2005).

1.5.2 – LEGISLAÇÃO NACIONAL

Os padrões de qualidade do ar no Brasil são estabelecidos através da Portaria Normativa do Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis - IBAMA nº 348, de 14/03/90, vinculado ao Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. A Resolução CONAMA nº 003 de 28 de junho de 1990 descreve padrões para todo o território nacional, limites mínimos e máximos a que a

população pode ficar exposta, de forma a proteger seu bem estar, baseados em estudos de caracterização de poluentes e nos efeitos que causam à saúde. Sendo assim, de acordo com a resolução, se os padrões estabelecidos forem ultrapassados poderão afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, bem como ocasionar danos à flora e à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral, conforme Tabela 1.2.

TABELA 1.2: Padrões nacionais da qualidade do ar.

| Poluente | Tempo de Amostragem | Padrão Primário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Padrão Secundário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Método |
|---|----------------------------|--|--|---|
| Partículas Totais em Suspensão (PTS) | 24 h | 240 | 150 | Amostrador de Grandes Volumes |
| | MGA* | 80 | 60 | |
| Dióxido de Enxofre (SO_2) | 24 h | 365 | 100 | Pararosanilina |
| | MAA** | 80 | 40 | |
| Monóxido de Carbono (CO) | 1 h | 40.000 (35 ppm) | 40.000 (35 ppm) | Absorção de Radiação Infravermelha não Dispersiva |
| | 8 h | 10.000 (9 ppm) | 10.000 (9 ppm) | |
| Ozônio (O_3) | 1 h | 160 | 160 | Quimiluminescência |
| Fumaça | 24 h | 150 | 100 | Refletância |
| | MAA** | 60 | 40 | |
| Partículas Inaláveis (MP_{10}) | 24 h | 150 | 150 | Separação Inercial/Filtração |
| | MAA** | 50 | 50 | |
| Dióxido de Nitrogênio (NO_2) | 1 h | 320 | 190 | Quimiluminescência |
| | MAA** | 100 | 100 | |

*Média Geométrica Anual.

**Média Aritmética Anual.

Fonte: Brasil (1990).

O padrão primário é a máxima concentração tolerável que, ultrapassada, pode afetar a saúde humana, portanto, visa proteger as populações mais suscetíveis como crianças, idosos e pessoas com asma. O padrão secundário diz respeito àquelas concentrações abaixo do que se prevê como mínimo de efeito adverso sobre a

população, a fauna, a flora e os materiais, podendo ser entendido como o nível desejado de concentração, que visa proteger o bem estar comum, além de estabelecer o método de amostragem mais apropriado para cada poluente.

Contudo, a Resolução 003/90 ainda descreve aquelas concentrações acima da quais se consideram níveis de atenção, alerta e emergência em episódios críticos de poluição do ar, com altas concentrações de poluentes na atmosfera em curto período de tempo (24 horas), resultando da ocorrência de condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos mesmos, não podendo ser excedidos mais que uma vez ao ano, conforme Tabela 1.3.

TABELA 1.3: Níveis de atenção, alerta e emergência para o MP₁₀.

| Níveis | MP ₁₀ |
|------------|-----------------------|
| Atenção | 250 µg/m ³ |
| Alerta | 420 µg/m ³ |
| Emergência | 500 µg/m ³ |

1.5.3 – LEGISLAÇÃO ESTADUAL

A Lei n° 8.544, de 17 de outubro de 1978, dispõe sobre o sistema de prevenção e controle do meio ambiente para o Estado de Goiás. Esta Lei foi regulamentada pelo Decreto n° 1.745, em 06 de dezembro de 1979, porém, em 03 de dezembro de 2003 foi alterado pelo Decreto n° 5.871. A Tabela 1.4 ilustra os padrões de qualidade do ar estabelecidos para todo o território do Estado de Goiás.

TABELA 1.4: Padrões de qualidade do ar no Estado de Goiás.

| Poluente | Tempo de Amostragem | Concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Método |
|--------------------------------------|----------------------------|---|---|
| Partículas Totais em Suspensão (PTS) | 24 h | 120 | Amostrador de Grandes Volumes |
| | MGA* | 40 | |
| Óxido de Enxofre (SO) | 24 h | 200 | Pararosanilina |
| | MGA* | 60 | |
| Monóxido de Carbono (CO) | 1 h | 40.000 | Absorção de Radiação Infravermelha não Dispersiva |
| | 8 h | 10.000 | |
| Oxidantes Fotoquímicos | 1 h | 120 | Luminescência Química |
| | 8 h | 60 | |

*MGA: Média Geométrica Anual

Fonte: Brasil (2003).

1.5.4 – LEGISLAÇÃO MUNICIPAL

Os padrões de qualidade do ar em Catalão – GO são conduzidos pela Lei nº 2.214, de 05 de agosto de 2004, chamada de Lei Ambiental que refere a limites para poluição atmosférica, sonora, hídrica, solo e em vias de logradouros públicos. Diante disso, temos a seguir na Tabela 1.5 os padrões referentes à poluição atmosférica que determinam limites máximos permissíveis de concentração de poluentes na atmosfera.

TABELA 1.5: Padrões de qualidade do ar na cidade de Catalão – GO.

| Poluente | Tempo de Amostragem | Concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Método |
|---------------------------------------|----------------------------|---|---|
| Partículas Totais em Suspensão (PTS) | 24 h | 240 | Amostrador de Grandes Volumes |
| | MGA* | 80 | |
| Dióxido de Enxofre (SO ₂) | 24 h | 365 | Pararosanilina |
| | MAA** | 80 | |
| Monóxido de Carbono (CO) | 1 h | 40.000 | Método de Absorção de Radiação Infravermelho não Dispersivo |
| | 8 h | 10.000 | |
| Oxidantes Fotoquímicos | 1 h | 160 | Método da Luminescência Química |

*MGA – Média Geométrica Anual

**MAA – Média Aritmética Anual

Fonte: Brasil (2004).

CAPÍTULO 2

OBJETIVOS

2 - OBJETIVOS

2.1 - OBJETIVOS GERAIS

Realizar o estudo do material particulado (MP_{10}) em dois locais distintos na cidade de Catalão - Goiás, através do uso do Amostrador de Grande Volume para partículas de 10 μm , com posterior estudo de sua concentração, composição elementar e toxicidade, e, por fim, discutir os resultados obtidos comparando-os à legislação vigente.

2.2 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar amostragem, em dois locais distintos, do material particulado através do Amostrador de Grande Volume (AGV MP_{10});
- Determinar a concentração do material particulado (MP_{10}) através da gravimetria;
- Comparar os resultados obtidos às legislações vigentes;
- Caracterizar os elementos presentes nos filtros amostrados a partir do equipamento de Espectrometria de Fluorescência de Raios X por Energia Dispersiva;
- Investigar a correlação entre as concentrações do MP_{10} e os dados do estudo;
- Realizar análise citotóxica dos filtros amostrados.

CAPÍTULO 3
PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

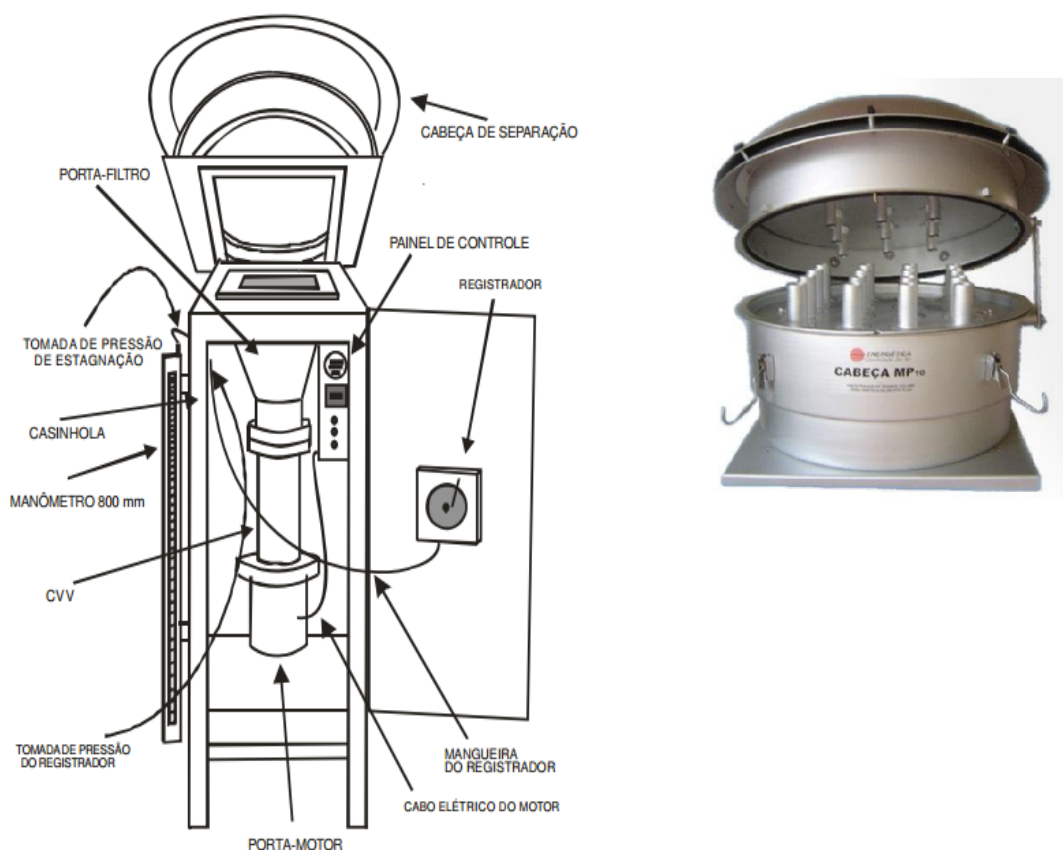
3 - PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

3.1 – AMOSTRAGEM

3.1.1 – AMOSTRADOR DE GRANDE VOLUME

A coleta do material particulado atmosférico foi realizada pelo método que utiliza o Amostrador de Grande Volume para partículas de até $10\ \mu\text{m}$ (MP₁₀) (AGV MP₁₀). O equipamento é formado por motoaspirador, porta filtro, casinhola e dispositivos auxiliares (programador de tempo, regulagem de tensão, indicador de vazão, indicador de tempo de amostragem e um manômetro), conforme Figura 3.1.

FIGURA 3.1: Amostrador de grande volume para partículas de até $10\ \mu\text{m}$ e a cabeça de separação (respectivamente).



Fonte: DIAS (2012).

O ar ambiente passa por um filtro instalado dentro da casinhola durante o período determinado de amostragem, a vazão imprimida pelo aparelho é em torno de $1,13\ \text{m}^3/\text{min}$. A geometria de entrada da cabeça de separação favorece a coleta apenas

das partículas de diâmetro aerodinâmico $\leq 10 \mu\text{m}$, para isso, o ar aspirado é direcionado através de nove boqueiras de aceleração, onde partículas maiores que $10 \mu\text{m}$ são retidas na placa untada com graxa de silicone, portanto, o ar contendo a fração de partículas de até $10 \mu\text{m}$ é então direcionado ao meio filtrante (DIAS, 2012).

Desta maneira, o MP_{10} foi coletado num filtro de fibra de vidro tipo padrão da marca Whatman, com dimensões de $203 \times 253 \text{ mm}$, com eficiência de coleta de 99,9% para partículas com diâmetro igual ou superior a $0,3 \mu\text{m}$; os filtros de fibra de vidro têm sido amplamente utilizados para coleta de partículas em suspensão, devido a sua alta eficiência de coleta (MARRERO et al., 2015). A massa do material particulado retido no filtro é expressa em microgramas (μg), e foi calculada pela diferença entre as pesagens do filtro limpo e contendo a amostra. O volume de ar amostrado é expresso em metros cúbicos (m^3) e foi calculado a partir da vazão medida e do tempo de amostragem, de acordo com a Equação 1:

$$C \text{MP}_{10} = \frac{M_l}{V_p} \cdot 10^6 \quad \text{Equação 1}$$

Onde,

$C \text{MP}_{10}$ = concentração de MP_{10} no ar ambiente ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

M_l = ganho líquido de massa no filtro durante a amostragem (g)

V_p = volume total amostrado em unidade padrão de volume (m^3)

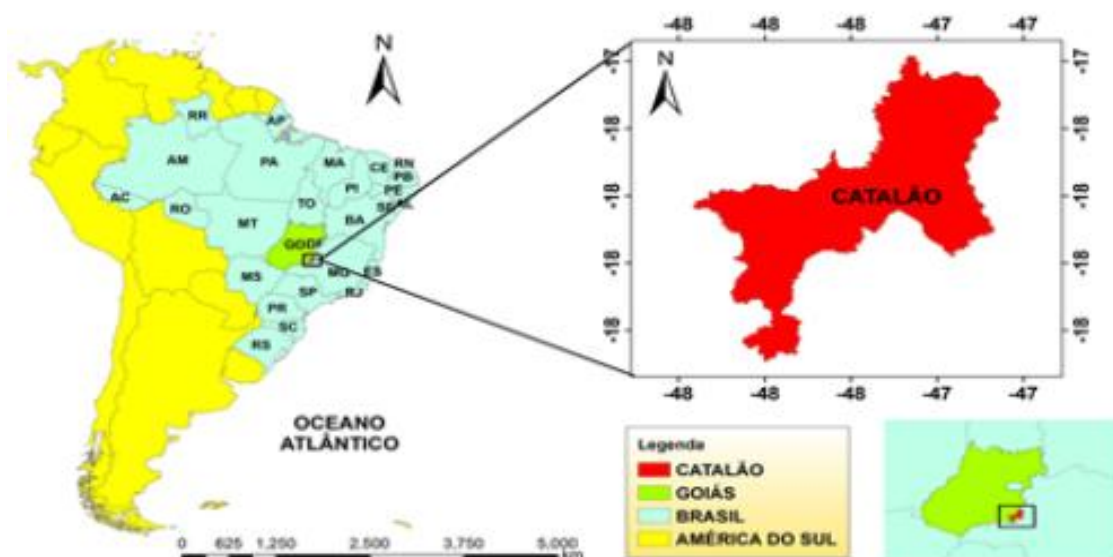
10^6 = fator de conversão ($\mu\text{g}/\text{g}$)

Portanto, a concentração do MP_{10} é expressa em $\mu\text{g}/\text{m}^3$, e, para determinar o volume amostrado, bem como a concentração, foram utilizadas planilhas e equações (ANEXO) disponibilizadas pela empresa Energética®, sendo usadas médias da temperatura e pressão nos dias de amostragem, e os dados retirados do amostrador de valores inicial e final do horâmetro, média de vazão lida na carta gráfica e valores iniciais e finais do manômetro. Todos os dados foram registrados em caderno de campo antes e após cada amostragem.

3.1.2 – LOCAL DE ESTUDO

Catalão é um município brasileiro localizado no sudeste do estado de Goiás (Figura 3.2). Localiza-se à latitude $18^{\circ} 9' 57''$ sul, à longitude $47^{\circ} 56' 47''$ oeste, e à altitude de 835 metros, apresentando uma área de aproximadamente de 3821,463 km². O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) estimou cerca de 100.590 habitantes para o ano de 2016, com uma frota de 73.708 mil veículos, entre automóveis, caminhões, motocicletas e utilitários, para o ano de 2015. De acordo com o censo demográfico realizado em 2010, cerca de 93,6% da população residem na área urbana (IBGE, 2017).

FIGURA 3.2: Cidade de Catalão - Goiás.



Fonte: Silva et al. (2017).

Segundo Pedrosa (2001), o município possui um clima tropical de altitude, com duas estações bem definidas, com verões quentes e úmidos e invernos frios e secos. O período chuvoso compreende os meses de novembro a março com pluviosidade média de 1500 mm, e o período seco os meses de abril a outubro. A temperatura média anual do ar atmosférico fica em torno de 22 °C, com média das máximas em torno dos 30 °C em setembro e média mínima de 10 °C no mês de julho.

3.1.3 – PONTOS DE AMOSTRAGEM

As amostragens foram realizadas nas dependências da Universidade Federal de Goiás - Regional Catalão (UFG-RC), situada à Av. Dr. Lamartine Pinto de

Avelar, no setor universitário. O equipamento foi instalado logo atrás do Restaurante Universitário, na Rua 812, conforme ilustrado nas Figuras 3.3 e 3.4.

O outro amostrador foi instalado na Av. Raulina Fonseca Pascoal com confluência com a Av. Egerineu Teixeira, localizada no centro da cidade, de acordo com a Figura 3.5. O uso dos equipamentos foi possível devido a um convênio entre a UFG-RC e a Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Catalão (SEMMAC). O propósito foi obter amostragem de locais distintos, conforme a Figura 3.6, para realizar uma comparação da amostra coletada nesses lugares.

FIGURA 3.3: Estação de Monitoramento da Qualidade do Ar, instalado nas dependências da UFG-RC.



Fonte: Autoria própria.

FIGURA 3.4: Vista aérea da UFG-RC, com indicação do local do equipamento.



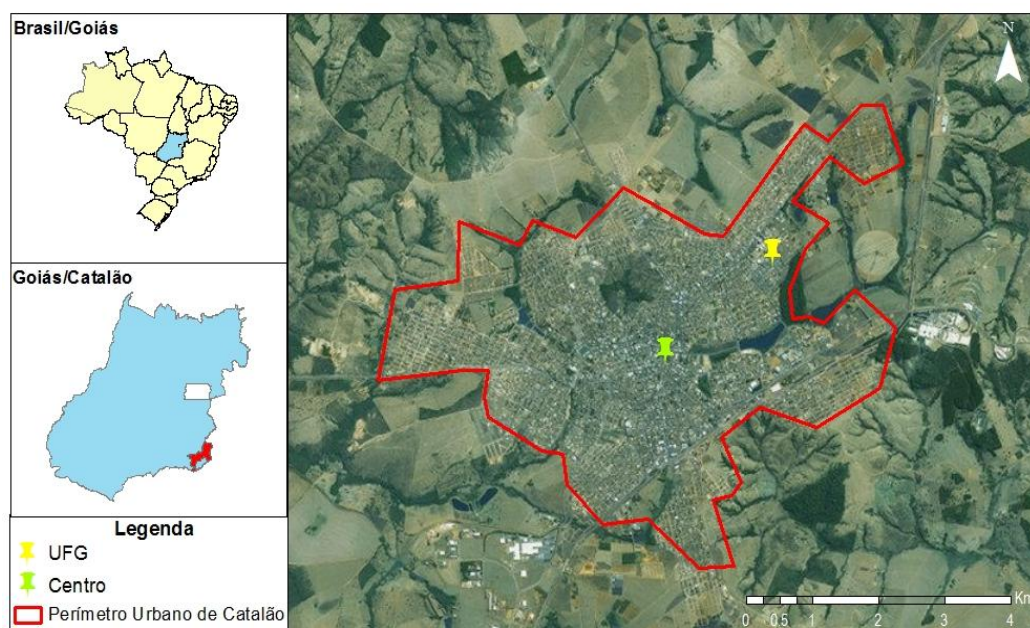
Estação de
Monitoramento
da Qualidade do
Ar em Catalão –
GO.

FIGURA 3.5: Estação de Monitoramento da Qualidade do Ar, instalado no Centro da cidade de Catalão – GO.



Fonte: Autoria própria.

FIGURA 3.6: Vista dos dois pontos de amostragem.



Fonte: Autoria própria.

Uma vez por semana foram realizadas as amostragens, ou seja, a cada 6 dias. Cada uma das amostras coletadas foi feita em dias diferentes no período de agosto de 2017 a março de 2018, no intuito de verificar a variação ocorrida em cada um dos resultados, que estão diretamente relacionados ao maior fluxo de veículos e, por

consequência, observou-se uma maior emissão de poluentes, uma vez que essas características variam em função do dia da semana, sendo que nos finais de semana o tráfego na área diminui.

Conforme sugerido pelo fabricante, a entrada do amostrador foi instalada a 2 metros do solo para que o mesmo realize a coleta somente do material suspenso no ar.

No mesmo local em que está o amostrador da UFG/RC há uma estação meteorológica automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), que capta dados de temperatura, pressão, precipitação, umidade, radiação, direção e velocidade de ventos. Esses dados são atualizados de hora em hora e disponibilizados para acesso público no *site* www.inmet.gov.br, de onde foram retirados todos os dados meteorológicos utilizados neste trabalho.

3.2 - ANÁLISE DO MP₁₀

3.2.1 – ANÁLISE DA CONCENTRAÇÃO

Para a obtenção da concentração do material particulado, foi realizada a pesagem dos filtros em balança analítica (OHAUS AR 2140) antes e após cada amostragem. Em seguida, as planilhas (ANEXO) foram preenchidas com os dados obtidos em campo, e, posteriormente, determinada a concentração da amostra.

3.2.2 – ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO ELEMENTAR

Para a identificação da composição elementar do MP₁₀ presente nas amostras coletadas, foi utilizada a técnica de Espectrometria de Fluorescência de Raios X por Energia Dispersiva (EDXRF), uma vez que o equipamento identifica elementos da tabela periódica de sódio (Na) a urânio (U). Além disso, é uma técnica que pode ser aplicada em diversas amostras, incluindo amostras em estado sólido e líquido, sem a necessidade de um tratamento da mesma, além de ser um método analítico não destrutivo (FILHO, 1999).

O método é baseado na medição da intensidade de raios X característicos emitidos pelos elementos que constituem a amostra. Desta forma, quando uma amostra

é irradiada por um feixe de raios X, os elementos presentes na amostra geram raios X característicos. Tais raios são conhecidos como raios X fluorescentes e possuem um comprimento de onda e uma energia específicos, que são característicos de cada elemento. Sendo assim, um elétron será ejetado, e outro elétron que ocupa um orbital de maior energia pode preencher o espaço deixado e a diferença de energia é liberada na forma de um fóton, que terá a energia característica dos átomos presentes. A radiação fluorescente pode ser mensurada por análise de energia dispersiva e ser gerado um espectro, e através dos picos ocorre a identificação elementar da amostra (PARREIRA, 2006; SKOOG et al., 2010).

Portanto, as análises foram realizadas no EDXRF (EDX 7000 SHIMADZU) do Laboratório de Caracterização por Raios X (LC-RX) da UFG-RC. Utilizou-se o filtro (Centro, UFG-RC e Branco) direto no equipamento para a análise e foram realizadas triplicatas das amostras. A aplicação de vácuo foi usada com o objetivo de garantir a identificação dos elementos mais leves, com colimador de 5 mm; o tempo total de cada amostra foi de 7 minutos.

3.2.3 – ANÁLISE TOXICIDADE

O estudo citotóxico do MP_{10} foi realizado através do teste de antibiograma. O teste oferece como resultado padrões de resistência ou susceptibilidade de uma bactéria específica a vários antimicrobianos, e é baseado na medida do halo de inibição do crescimento bacteriano formado ao redor de um disco contendo determinado tipo de antibiótico, conforme Figura 3.7 (OPLUSTIL et al., 2010). Portanto, quanto mais sensível à ação do antibiótico, maior será o halo ao redor do filtro, porém, se as bactérias forem resistentes nada acontecerá. Deste modo, o método do antibiograma foi adaptado para as amostras de filtros, para avaliar a toxicidade do mesmo.

FIGURA 3.7: Exemplo da formação de halo sobre o filtro.

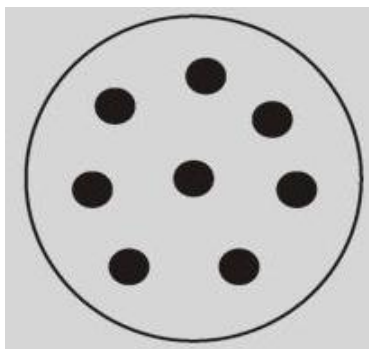


Sendo assim, com um perfurador foram confeccionados discos de 6 mm dos filtros de MP₁₀ dos sítios UFG-RC e Centro, bem como do filtro em branco, que, em seguida, foram colocados em frascos.

No preparo do meio de cultura, em um erlenmeyer foram diluídos 7,6 g de Ágar (Mueller Hinton) em 200 mL de água destilada. Foram levados para autoclave os frascos contendo os filtros, o meio de cultura e as placas de Petri, durante 15 minutos e a 127 °C com a finalidade de esterilizar.

Após esterilização foram colocados cerca de 20 mL de Ágar em cada placa de Petri, esperou-se o meio de cultura ter consistência para assim se realizar a inoculação das bactérias, ou seja, com o auxílio de um swabs (haste de algodão estéril) as bactérias foram introduzidas no meio de cultura. As bactérias escolhidas foram *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* e *Pseudomonas aeruginosa*. Após a inoculação, foram colocados os discos com o MP virados sob a superfície do meio de cultura e levados à estufa por 24 horas a 37 °C, conforme Figura 3.8.

FIGURA 3.8: Modelo de distribuição dos filtros na placa de Petri.

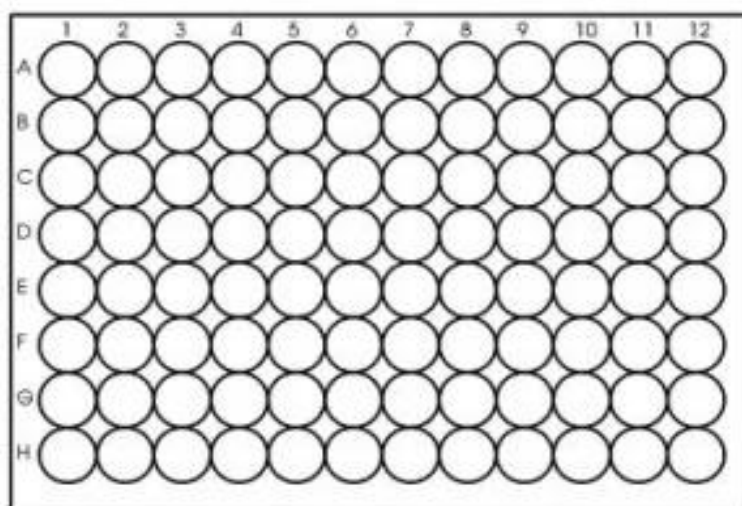


Realizou-se o estudo dos filtros sem autoclavar e sem inocular as bactérias, assim, foram colocados os discos de filtro sobre o meio de cultura que, posteriormente, foi levado à estufa por 24 horas a 37 °C.

Além disto, foram realizados estudos com microdiluição em caldo onde foram pesados 0,1 g dos filtros do Centro, UFG-RC e Branco, e colocados em tubo de plástico. Em seguida, foram adicionados 10 mL de água deionizada nos tubos e estes levados em ultrassom (ELMASONIC E 30H) por 10 minutos. Logo após retirou-se o filtro, sobrando assim, a solução de filtro.

O meio de cultura foi preparado com 21 g de caldo (Mueller Hinton) em 1 L de água. Em uma placa Elisa foram colocados 20 µL de inóculo (*Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* e *Pseudomonas aeruginosa*), em seguida, foram adicionados 100 µL da amostra (solução dos filtros) e 100 µL de meio de cultura. Para o controle positivo utilizou-se 200 µL de meio de cultura com 20 µL de inóculo e, para o controle negativo, foram utilizados 220 µL de meio de cultura. Nas amostras sem a presença do inóculo foram colocados 120 µL de meio de cultura com 100 µL da solução do filtro, conforme Figura 3.9.

FIGURA 3.9: Modelo de distribuição para placa Elisa.



Nas colunas 1, 2 e 3 foi colocada a amostra do Centro com o microrganismo *Staphylococcus aureus* na linha A, a *Escherichia coli* na linha C e a *Pseudomonas aeruginosa* na linha E. Nas colunas 4, 5, e 6 foi distribuída a amostra da UFG-RC e nas colunas 7, 8 e 9 foi colocado o filtro em Branco. Na linha H foram colocadas as amostras com o meio de cultura, sendo assim, na coluna 1 encontra-se a

amostra do Centro, na coluna 2 a amostra da UFG-RC e na coluna 3 a amostra do Branco. Realizou-se um controle positivo com o objetivo de observar se os microrganismos iriam crescer, logo, na linha G e coluna 10 tem-se a *Staphylococcus aureus*, na coluna 11 a *Escherichia coli* e na coluna 12 a *Pseudomonas aeruginosa*, para isso, foram inoculados os microrganismos com o meio de cultura. Para o controle negativo espera-se que não ocorra o crescimento de microrganismos, portanto, tem-se somente o meio de cultura na linha H, coluna 12.

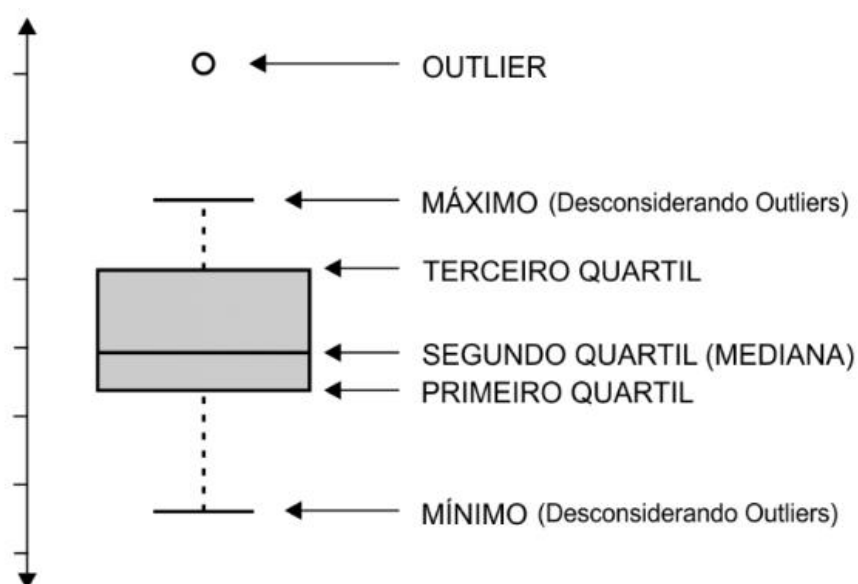
Todos os testes microbiológicos foram realizados pelo Laboratório de Bioquímica e Microbiologia (LABIM) na UFG-RC, sob a responsabilidade do Professor Dr. Geraldo Sadoyama.

3.2.4 – ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para investigar a relação entre as condições meteorológicas e as concentrações do MP_{10} foi realizada uma análise estatística dos dados.

Sendo assim, na estatística descritiva o *boxplot* (gráfico de caixa) é um gráfico utilizado para avaliar a distribuição empírica dos dados; a Figura 3.10 ilustra a representação de um *boxplot*.

FIGURA 3.10: Interpretação de um diagrama de caixa (*boxplot*).



O *boxplot* é formado por mínimo, máximo, primeiro quartil (Q_1), segundo quartil (Q_2) ou mediana e terceiro quartil (Q_3). Quartil são percentis 25, 50 e

75, que representam o primeiro, o segundo e o terceiro quartil. Logo, valor do Q_1 representa 25% de todos os dados, o Q_3 representa 75% de todos os dados, e o Q_2 equivale ao percentil 50, ou seja, valores em que pelo menos 50% da amostra estão acima dele e pelo menos 50% estão abaixo. Os dados situados entre o Q_3 e o final da semi-reta (cauda) acima do retângulo determinam o conjunto de valores máximos dos dados, já os dados entre Q_1 e a cauda inferior representam os valores mínimos do conjunto de dados. Os pontos situados acima do limite superior ou abaixo do limite inferior são pontos extremos, o que indica observações atípicas, valores discrepantes ou *outliers*.

As posições de Q_1 , Q_2 e Q_3 dão uma noção da assimetria da distribuição, ou seja, quanto mais central estiver o Q_2 mais simétrico será o conjunto de dados analisados.

Para complementar a investigação de dados, foi utilizado o coeficiente de correlação de Pearson (r), haja vista que ele mede o grau da correlação linear entre variáveis quantitativas, podendo variar, em termos de valor, de -1 a +1, sendo que quanto maior for o valor do coeficiente, mais forte é a relação entre as variáveis. E um valor absoluto de 1 indica uma relação linear perfeita, a correlação perto de 0 indica que não há relação linear entre as variáveis, conforme Tabela 3.1 (MILLER e MILLER, 2010).

TABELA 3.1: Coeficientes de correlação.

| Níveis | Correlação |
|--------|------------------------------|
| - 1,00 | Correlação negativa perfeita |
| - 0,60 | Forte correlação negativa |
| - 0,30 | Moderada correlação negativa |
| - 0,10 | Fraca correlação negativa |
| 0,00 | Não há correlação |
| + 0,10 | Fraca correlação positiva |
| + 0,30 | Moderada correlação positiva |
| + 0,60 | Forte correlação positiva |
| + 1,00 | Correlação positiva perfeita |

Para definir se a correlação entre as variáveis é significativa, fez-se a comparação do valor de p com seu nível de significância, o nível de significância α (alfa) igual a 0,05. Portanto, se o valor de $p \leq \alpha$ a correlação é significativa, pois se o

valor de p for menor ou igual ao nível de significância, a correlação é diferente de 0. Já se o valor de $p > \alpha$ a correlação não é significativa (MILLER e MILLER, 2010).

Diante disso, para o estudo da correlação foi utilizado o *software* Minitab

17.

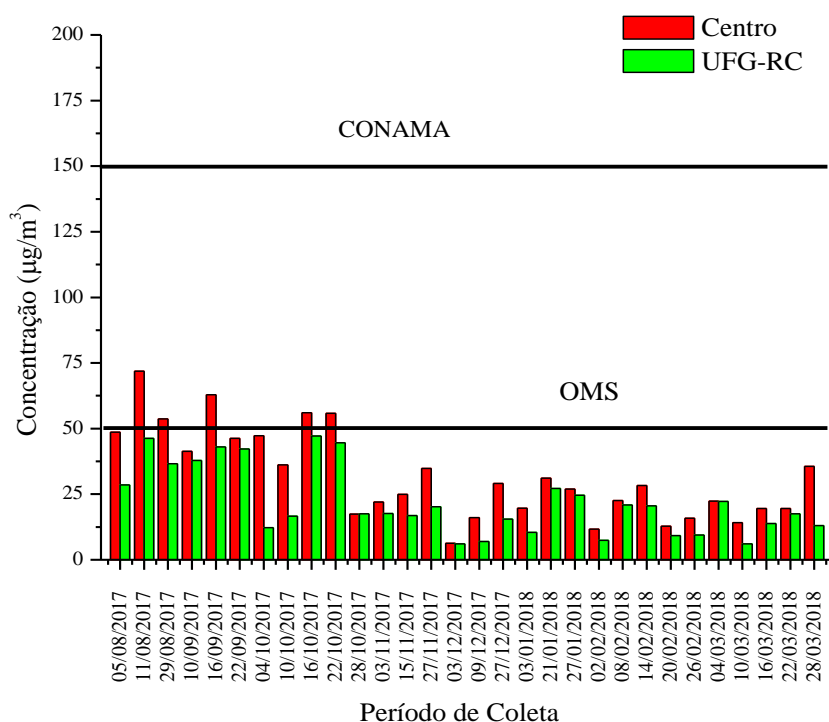
CAPÍTULO 4
RESULTADOS E DISCUSSÃO

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1- CONCENTRAÇÃO

As concentrações do MP_{10} de ambos os locais amostrados no período de agosto de 2017 a março de 2018 foram comparadas aos padrões de qualidade do ar estabelecidos pela Resolução CONAMA n° 003/90 e OMS, conforme Figura 4.1. As amostragens foram realizadas com frequência de 6 dias, as quais contabilizaram-se 30 amostras, com maior concentração de $71,87 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e menor $6,29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para o Centro, já para a UFG-RC a maior concentração foi de $47,17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e a menor de $6,12 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

FIGURA 4.1: Concentração do MP_{10} comparado à resolução CONAMA 003/90 o OMS.

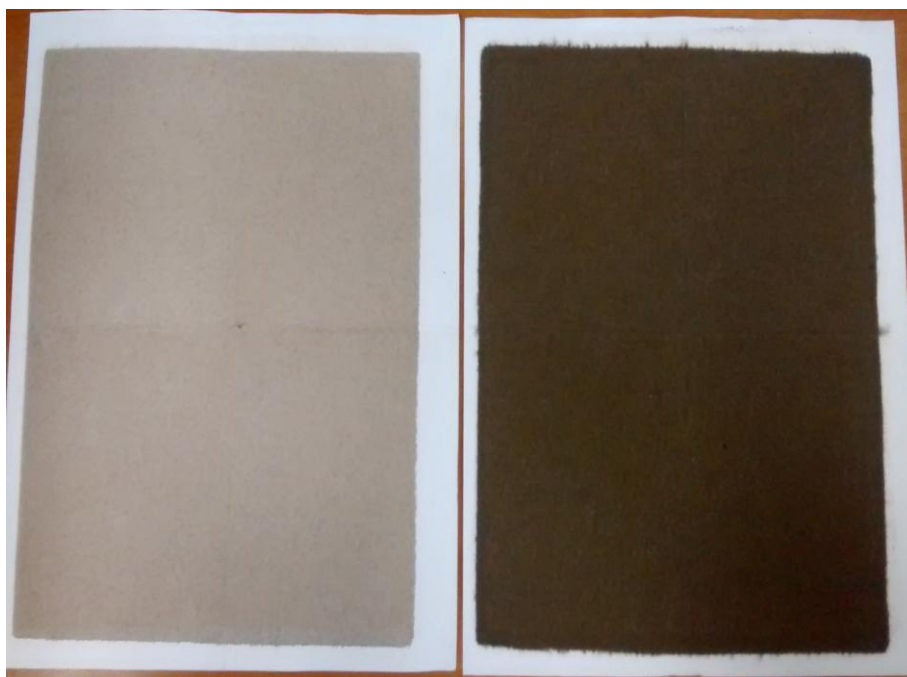


O valor de Padrão Primário e Secundário estabelecido pela resolução CONAMA n° 003/90 é de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para períodos de 24 horas. Conforme observado, não houve ultrapassagem do limite ao longo do estudo, portanto, as concentrações se encontram em conformidade com a legislação nacional vigente. Não foi possível realizar o estudo comparativo em relação à legislação estadual e municipal, uma vez que o estado e o município não estabelecem padrões de qualidade para o MP_{10} . Em um estudo semelhante realizado em Catalão – GO por Romualdo et al. (2015) as concentrações durante o período também foram todas em conformidade com a legislação nacional.

Nas recomendações estabelecidas pela OMS em 2005, para o poluente MP_{10} o valor limite da concentração é $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ com tempo de amostragens da média de 24 horas e, conforme Figura 4.1, houve a extrapolação deste valor cinco vezes durante o estudo, o que ocorreu entre os meses de agosto a outubro e essa extrapolação foi somente nas concentrações do MP_{10} localizado no centro da cidade. Porém, de acordo com a OMS, cerca de 92% da população mundial vive em locais onde os níveis de qualidade do ar excedem suas diretrizes.

Comparando o conjunto de dados coletados na UFG e no Centro, percebe-se uma maior variação e maiores concentrações nos filtros coletados no Centro, conforme observado na Figura 4.2. Isso provavelmente se deve às condições ambientais distintas entre as duas localidades, sendo que o local do equipamento instalado na UFG-RC é gramado e possui pequeno tráfego de veículos, enquanto no Centro a pavimentação é totalmente asfaltada e possui intenso tráfego veicular, isso fica evidenciado, uma vez que os filtros coletados no equipamento do Centro foram mais escuros, enquanto nos filtros da UFG-RC foi percebida uma coloração marrom.

FIGURA 4.2: Filtros amostrados na UFG-RC e Centro, respectivamente.



Fonte: A autoria própria.

Visando comparar as principais características do conjunto de dados amostrais de ambas as localidades, construiu-se um diagrama de caixa (*boxplot*), em que foram comparadas a locação dos dados, a dispersão, a simetria e a presença de dados discrepantes (*outliers*), conforme apresentado na Figura 4.3. Os valores estatísticos descritivos estão apresentados na Tabela 4.1, na sequência.

FIGURA 4.3: *Boxplot* das concentrações de MP_{10} da UFG-RC e Centro.

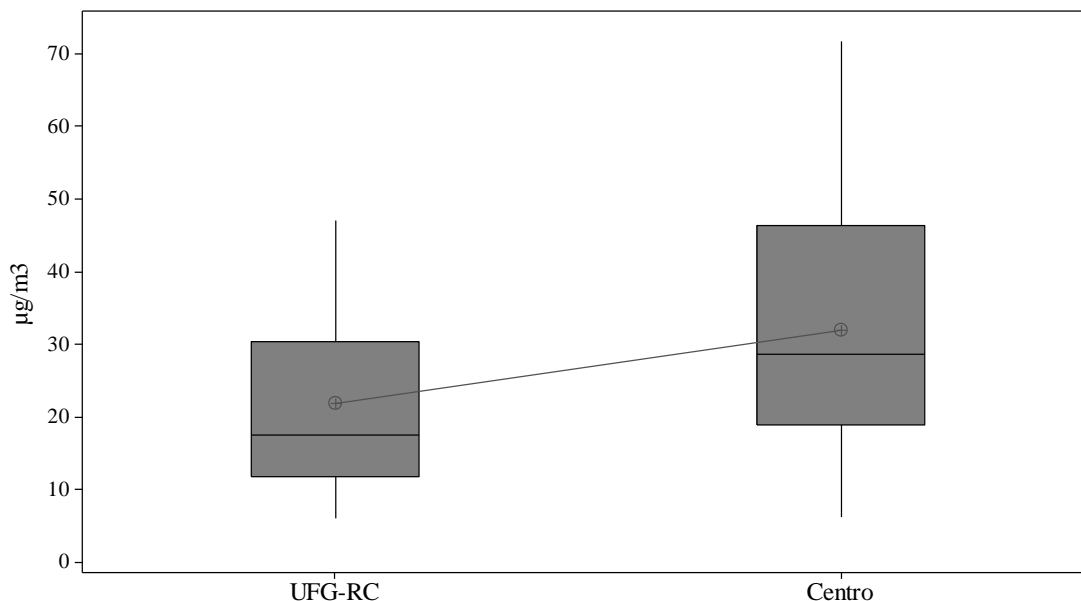


TABELA 4.1: Estatística descritiva.

| | UFG-RC | Centro |
|--|--------|--------|
| N | 30 | 30 |
| Média [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] | 21,910 | 32,082 |
| Desvio Padrão | 13,041 | 16,857 |
| Valor Mínimo | 6,07 | 6,2932 |
| Valor Máximo | 47,17 | 71,870 |

Quanto à locação dos dados, percebe-se que a média da concentração do MP_{10} dos dados do Centro é maior do que a média dos valores da UFG-RC. Além disso, o Centro apresenta uma maior variabilidade em relação à UFG-RC, haja vista o maior comprimento de todos quartis do *boxplot* do Centro e seu superior valor de desvio padrão. Pelo diagrama também não foram identificados valores anômalos (*outliers*).

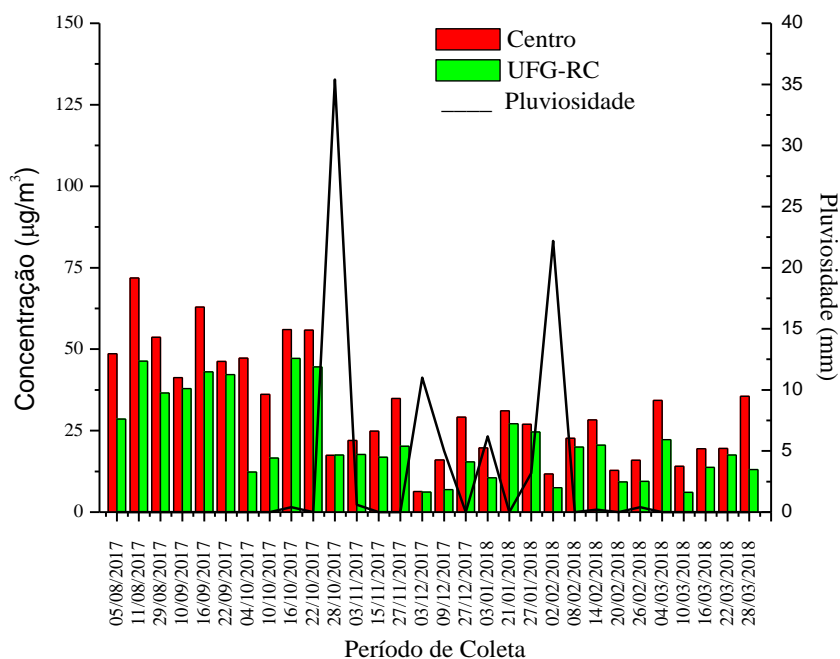
Ainda, considerando os valores acima do terceiro quartil do Centro, percebe-se que aproximadamente 25% das concentrações do centro são superiores ao máximo de concentração da UFG-RC, o que pode estar relacionado às condições de tráfego de veículos e pavimentação das localidades.

Portanto, de maneira geral, as concentrações obtidas encontram-se dentro do limite proposto pela legislação brasileira, o que significa que esses valores não deveriam ser prejudiciais à população, porém, conforme estudos relatados, o fato deste MP ser tão pequeno pode permitir ao mesmo penetrar nas vias respiratórias e ser prejudicial ao ser humano através da sua acumulação no organismo.

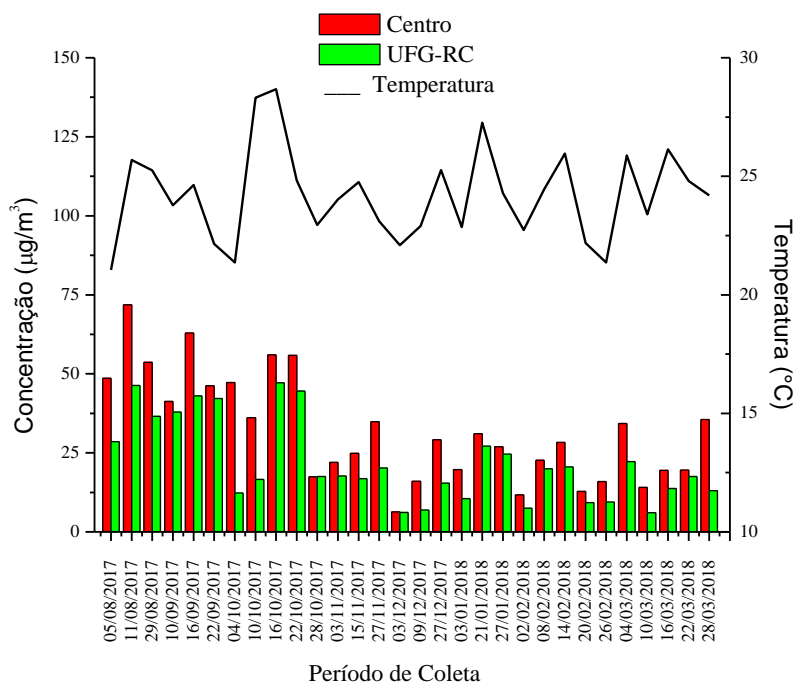
4.2 – CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS

Além da localidade, outro fator ambiental que influencia nas concentrações são as condições meteorológicas, deste modo, foram avaliadas a média do dia de amostragem da pressão atmosférica, pluviosidade, temperatura, velocidade e direção do vento e umidade em relação às concentrações do MP₁₀ de ambos os locais.

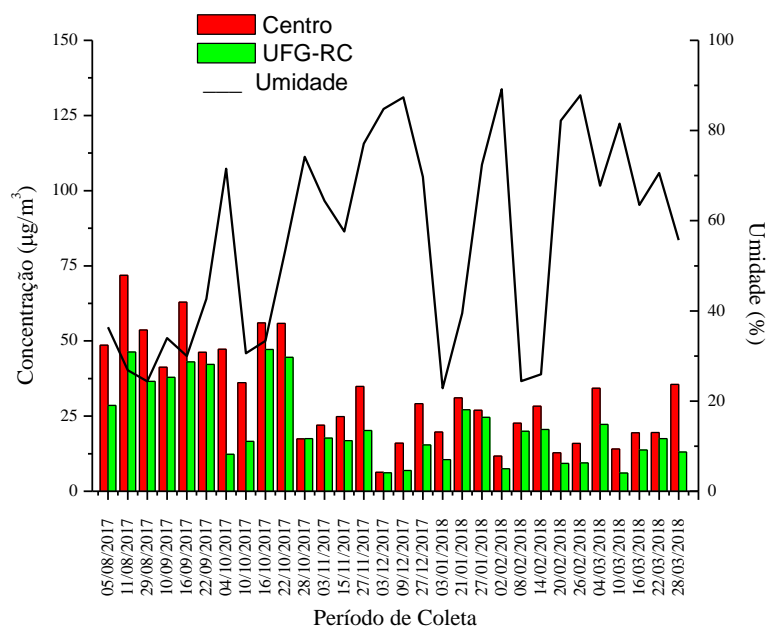
Contudo, de acordo com a Figura 4.4, as maiores concentrações foram obtidas nos meses de agosto a outubro, período esse em que, de acordo com Pedrosa (2001), ocorre a ausência de chuvas. A partir do final de outubro há uma queda nas concentrações, pois se iniciam as chuvas, deste modo, as chuvas afetam significativamente as concentrações do MP₁₀. O maior índice pluviométrico (35,40 mm) foi no dia 28/10/2017, logo, a concentração do MP foi baixa em ambos os locais. A precipitação favorece a depuração da atmosfera promovendo a remoção das partículas suspensas por deposição úmida. Nos dias anteriores às amostragens foi observado se houve chuvas, pois estas também podem afetar as concentrações pelo mesmo motivo. Somente no dia 04/10/2017 houve chuva no dia anterior à amostragem, o que pode justificar a baixa concentração na UFG-RC, uma vez que o local não tem pavimentação, sendo então o MP proveniente principalmente do gramado.

FIGURA 4.4: Concentração de MP₁₀ e variação da pluviosidade ao longo da coleta.

Além da presença de chuvas, outro parâmetro meteorológico que pode influenciar nas concentrações é a temperatura. E, conforme observado na Figura 4.5, houve oscilações na temperatura durante o estudo. O dia que apresentou maior média de temperatura (28,68 °C) foi 16/10/2017, conseqüentemente, obtiveram-se concentrações altas em ambos os locais. Altas temperaturas podem manter as partículas suspensas na atmosfera por mais tempo, pois, conforme houve diminuição nas temperaturas, as concentrações diminuíram e observa-se que a temperatura foi maior no mês que antecede as chuvas. Portanto, de acordo com Lee et al. (2011), as altas temperaturas podem estar relacionadas a uma maior formação de aerossóis devido às altas taxas de reações químicas, contribuindo para maiores concentrações.

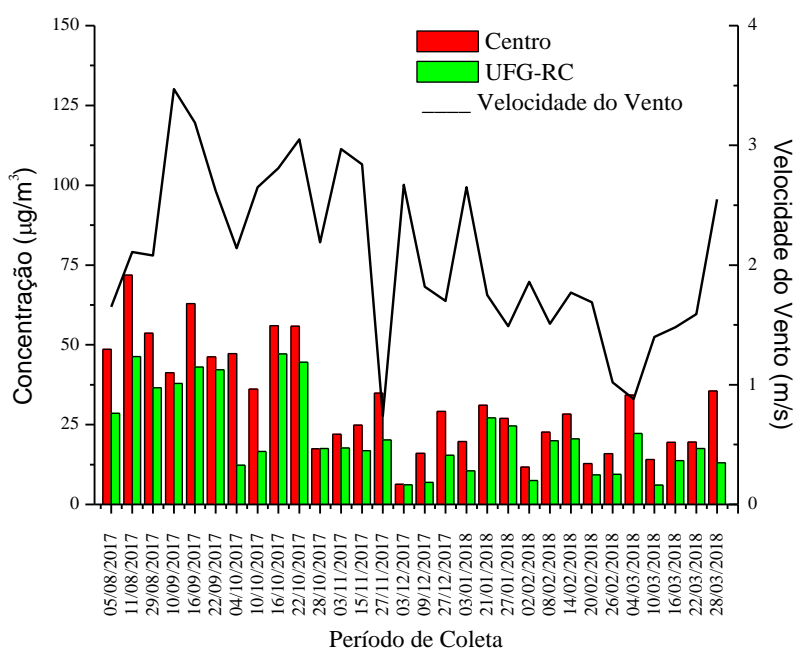
FIGURA 4.5: Concentração de MP₁₀ e variação da temperatura ao longo da coleta.

Juntamente com a presença e/ou ausência de chuvas e temperatura, a umidade do ar também pode influenciar nas concentrações do MP, isto pode ser verificado na Figura 4.6. Nota-se que o perfil das variáveis umidade do ar e pluviosidade é semelhante, pois, conforme houve um aumento da umidade ocorreu uma queda nas concentrações. No dia 02/02/2018 aconteceu a maior umidade (89,14 %), conseqüentemente, as concentrações foram baixas, uma vez que a umidade representa a quantidade de vapor de água presente na atmosfera, logo, alta umidade promove aglomeração das partículas fazendo com que as mesmas aumentem de diâmetro e sedimentem com mais facilidade.

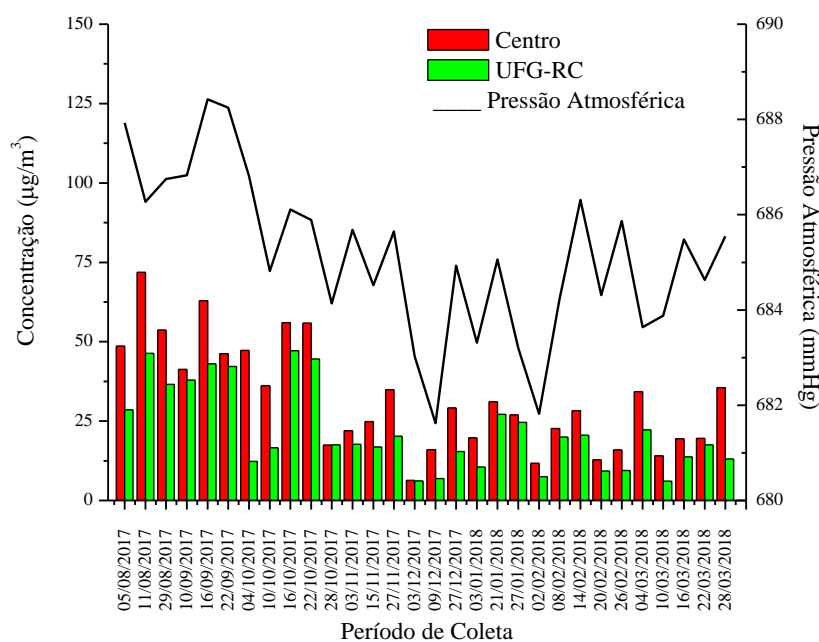
FIGURA 4.6: Concentração de MP₁₀ e variação da umidade ao longo da coleta.

Além destas variáveis, a velocidade do vento também pode influenciar na concentração e dispersão do MP. Deste modo, de acordo com a Figura 4.7, o dia 10/09/2017 obteve maior média da velocidade do vento, de 3,47 m/s, porém não foi a maior concentração, pois ventos fortes podem dispersar os poluentes. As partículas respiráveis como a do MP₁₀ permanecem por mais tempo no ar, devido ao seu tamanho, sendo assim, a velocidade do vento baixa dificulta sua velocidade de queda. Como observado, a velocidade do vento apresentou relação com outros parâmetros meteorológicos, como pluviosidade.

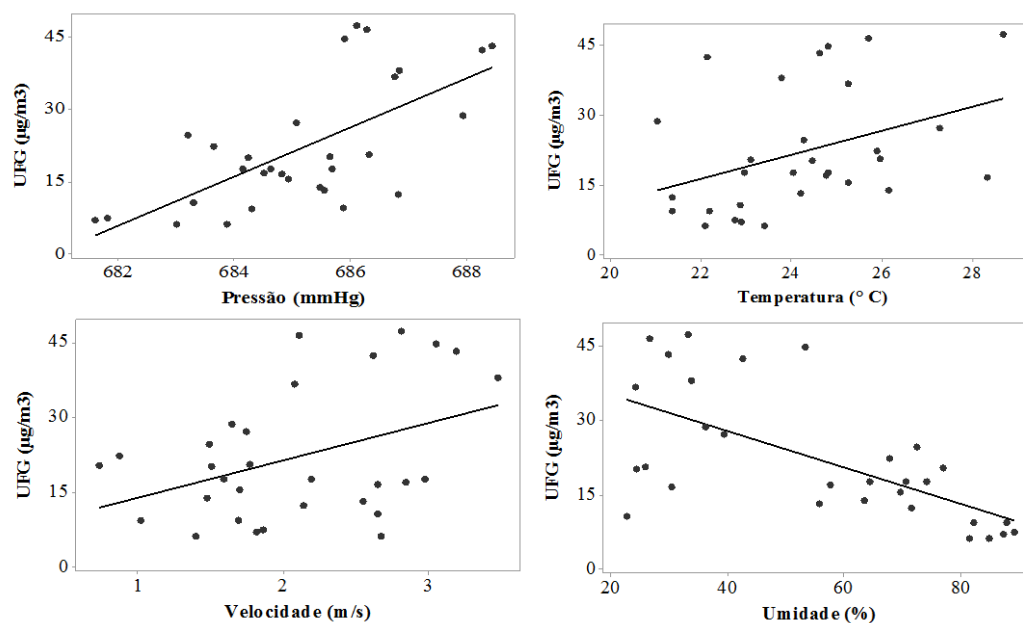
FIGURA 4.7: Concentração de MP₁₀ e variação da velocidade do vento ao longo da coleta.



A pressão atmosférica também é um fator meteorológico que afeta as concentrações do MP. Observa-se na Figura 4.8 que diante de maiores pressões atmosféricas se evidenciou maiores concentrações de material particulado. O que ocorreu entre os meses de agosto e outubro, e, a partir do final de outubro, a pressão diminuiu, logo, as concentrações diminuíram, pois, de acordo com Sánches-Ccoyllo et al. (2002), a pressão atmosférica pode ser indicativa da proximidade de sistemas frontais, haja vista que o comportamento da pressão atmosférica no momento que antecede a chegada de uma frente fria diminui gradativamente, elevando-se à medida que a frente fria passa.

FIGURA 4.8: Concentração de MP₁₀ e variação da pressão atmosférica ao longo da coleta.

Portanto, visando identificar possíveis relações lineares entre a concentração de MP₁₀ e os parâmetros meteorológicos (pressão atmosférica, temperatura, velocidade dos ventos e umidade), realizou-se um teste de correlação de Pearson, adotando-se um nível de significância de 0,05 ($\alpha = 0,05$). Os gráficos dos dados da UFG-RC estão apresentados na Figura 4.9.

FIGURA 4.9: Gráficos de correlação da [MP₁₀] com dados meteorológicos para UFG-RC.

Na Tabela 4.2 estão apresentados os valores dos parâmetros estatísticos do teste para cada variável meteorológica.

TABELA 4.2: Coeficiente de correlação de Pearson, dados UFG-RC.

| | P valor | R² |
|--------------------|----------------|----------------------|
| Pressão | 0,001 | 0,66 |
| Temperatura | 0,037 | 0,38 |
| Velocidade | 0,025 | 0,41 |
| Umidade | 0,001 | - 0,65 |

Observando-se os gráficos na Figura 4.9 e os valores na Tabela 4.2, devido aos P valores serem todos menores que α , pode-se concluir que a relação entre as quatro variáveis e a concentração de MP_{10} nos filtros é estatisticamente significativa.

Dentre as variáveis meteorológicas, a pressão é a que mais impacta na concentração de material particulado no filtro, visto que obteve uma forte correlação positiva de $R^2 = 0,66$, indicando que quando a pressão aumenta a concentração de material nos filtros também aumenta.

A segunda variável meteorológica de influência é a umidade, com forte correlação negativa de $R^2 = -0,65$, ou seja, quando a umidade aumenta, os valores de concentração diminuem.

As correlações das variáveis temperatura e velocidade são estatisticamente significativas, pois mesmo que moderadas as duas apresentam-se positivamente correlacionadas com a concentração.

O mesmo teste de correlação linear de Pearson foi aplicado aos dados da estação do Centro, os resultados estão apresentados na Figura 4.10 e na Tabela 4.3.

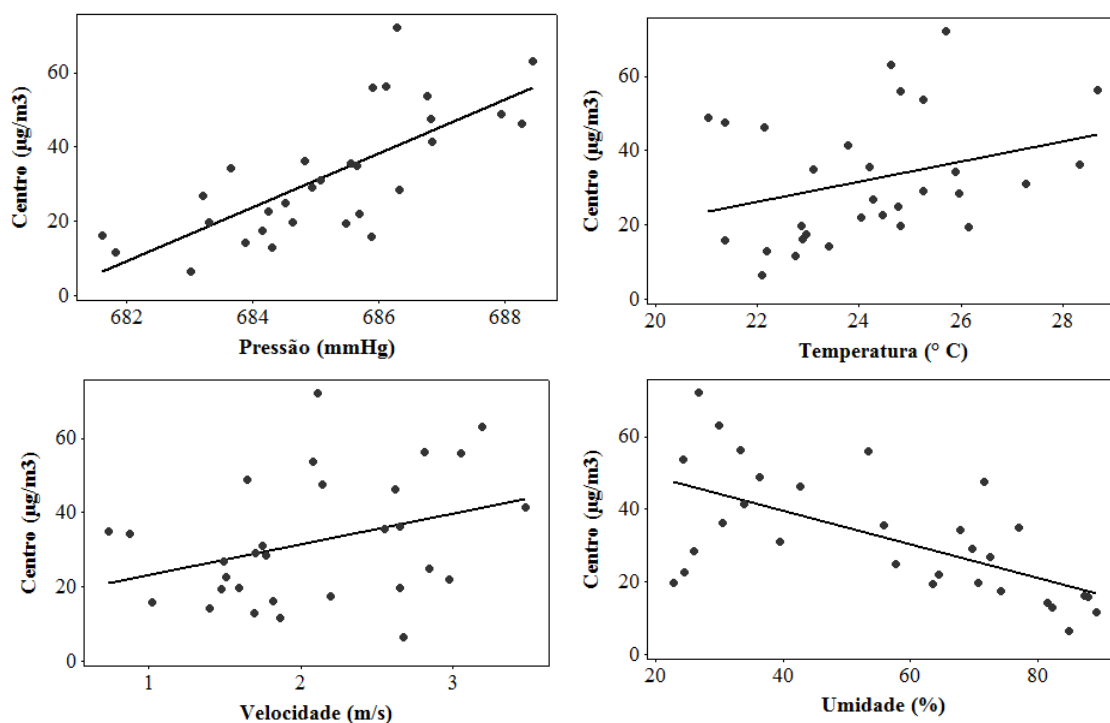
FIGURA 4.10: Gráficos de correlação da [MP₁₀] com dados meteorológicos para o Centro.

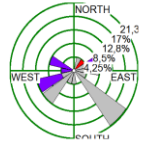
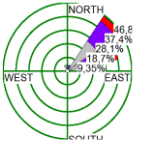
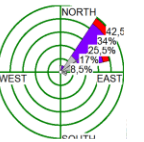
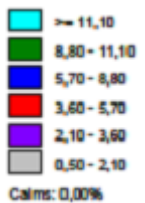
TABELA 4.3: Coeficiente de correlação de Pearson, dados Centro.

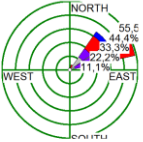
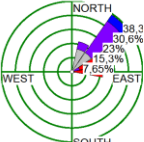
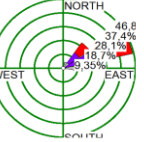
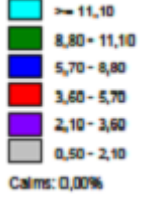
| | P valor | R² |
|--------------------|----------------|----------------------|
| Pressão | 0,001 | 0,73 |
| Temperatura | 0,094 | 0,31 |
| Velocidade | 0,060 | 0,35 |
| Umidade | 0,001 | -0,63 |


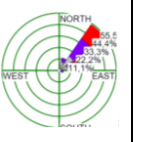
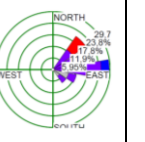
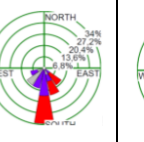
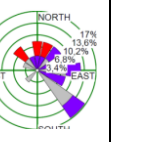
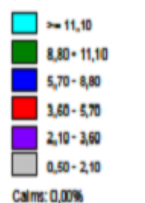
A partir dos resultados, percebe-se que assim como na UFG-RC as variáveis mais correlacionadas no Centro foram a pressão atmosférica e a umidade, positiva e negativamente correlacionadas, respectivamente. A temperatura apresentou uma correlação moderada, no entanto, a variável de velocidade do vento não se apresentou estatisticamente significativa, visto P valor = 0,060 ser maior que o nível de significância. Mas é importante ressaltar que isso não exclui a possível influência do vento sobre a concentração de MP₁₀, apenas mostra que não há relação linear.

Na Figura 4.11 tem-se a média das direções dos ventos no dia de amostragem relacionadas com as concentrações, e, conforme observado, a direção predominante durante o estudo foi a nordeste.

FIGURA 4.11: Rosa dos ventos nos dias de amostragem para cada mês.

| Agosto/2017 | | | | Velocidade do vento (m/s) |
|---------------------|---|---|---|---|
| Rosa dos Ventos |  |  |  |  |
| Data de Amostragem | 05/08/17 | 11/08/17 | 29/08/17 | |
| Concentração Centro | 48,62 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | 71,87 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | 53,66 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | |
| Concentração UFG-RC | 28,51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | 46,29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | 36,59 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | |

| Setembro/2017 | | | | Velocidade do vento (m/s) |
|---------------------|---|---|---|---|
| Rosa dos Ventos |  |  |  |  |
| Data de Amostragem | 10/09/17 | 16/09/17 | 22/09/17 | |
| Concentração Centro | 41,31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | 62,93 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | 46,22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | |
| Concentração UFG-RC | 37,89 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | 43,06 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | 42,21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | |

| Outubro/2017 | | | | | | Velocidade do vento (m/s) |
|---------------------|---|---|---|--|---|---|
| Rosa dos Ventos |  |  |  |  |  |  |
| Data de Amostragem | 04/10/17 | 10/10/17 | 16/10/17 | 22/10/17 | 28/10/17 | |
| Concentração Centro | 47,25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | 36,12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | 56,03 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | 55,85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | 17,44 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | |
| Concentração UFG-RC | 12,27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | 16,58 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | 47,17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | 44,55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | 17,52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | |

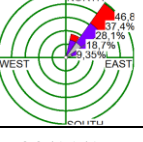
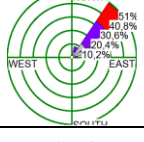
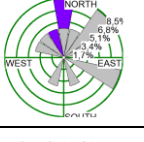
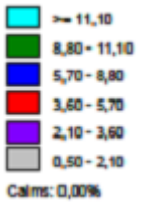
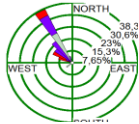
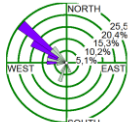
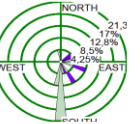
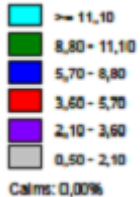
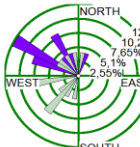
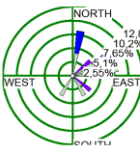

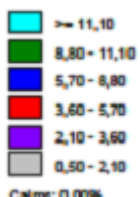
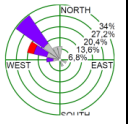
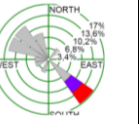
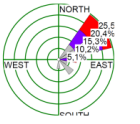
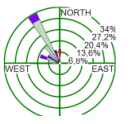
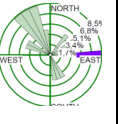
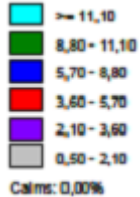
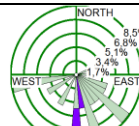
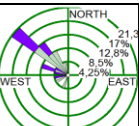
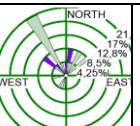
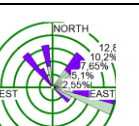
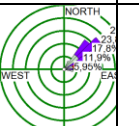
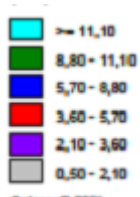
| Novembro/2017 | | | | Velocidade do vento (m/s) |
|---------------------|---|---|---|---|
| Rosa dos Ventos |  |  |  |  |
| Data de Amostragem | 03/11/17 | 15/11/17 | 27/11/17 | |
| Concentração Centro | 22,00 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | 24,88 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | 34,84 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | |
| Concentração UFG-RC | 17,65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | 16,82 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | 20,19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | |

FIGURA 4.11: Rosa dos ventos nos dias de amostragem para cada mês (Continuação).

| Dezembro/2017 | | | | Velocidade do vento (m/s) |
|---------------------|---|---|---|---|
| Rosa dos Ventos |  |  |  |  |
| Data de Amostragem | 03/12/17 | 09/12/17 | 27/12/17 | |
| Concentração Centro | 6,29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | 16,01 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | 29,11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | |
| Concentração UFG-RC | 6,12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | 6,94 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | 15,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | |

| Janeiro/2018 | | | | Velocidade do vento (m/s) |
|---------------------|---|---|--|---|
| Rosa dos Ventos |  |  |  |  |
| Data de Amostragem | 02/01/18 | 21/01/18 | 27/01/18 | |
| Concentração Centro | 19,69 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | 31,06 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | 26,91 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | |
| Concentração UFG-RC | 10,49 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | 27,13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | 24,57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | |

| Fevereiro/ 2018 | | | | | | Velocidade do vento (m/s) |
|---------------------|---|---|---|--|---|---|
| Rosa dos Ventos |  |  |  |  |  |  |
| Data de Amostragem | 02/02/18 | 08/02/18 | 14/02/18 | 20/02/18 | 26/02/18 | |
| Concentração Centro | 11,71 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | 22,62 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | 28,33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | 12,84 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | 15,85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | |
| Concentração UFG-RC | 7,46 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | 20,85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | 20,56 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | 9,26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | 9,41 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | |

| Março/ 2018 | | | | | | Velocidade do vento (m/s) |
|---------------------|---|---|---|--|---|---|
| Rosa dos Ventos |  |  |  |  |  |  |
| Data de Amostragem | 04/03/18 | 10/03/18 | 16/03/18 | 22/03/18 | 28/03/18 | |
| Concentração Centro | 22,35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | 14,10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | 19,49 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | 19,52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | 35,48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | |
| Concentração UFG-RC | 22,23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | 6,07 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | 13,76 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | 17,49 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | 13,07 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | |

Um fator importante para avaliar a influência de fontes dos poluentes em uma região é o conhecimento da direção dos ventos, porém, a direção dos ventos é bastante variável no tempo e no espaço. Sendo assim, conforme ilustrado na Figura 4.11, no dia 11/08/2017 obteve-se a maior concentração de MP_{10} para o Centro e, no dia 16/10/2017, para a UFG-RC, em ambos os dias a direção dos ventos foi a nordeste. Todavia, no dia 03/12/2017 obteve-se a menor concentração do Centro e, no dia 10/03/2018, para a UFG-RC com direção dos ventos a noroeste. Deste modo, a direção do vento a nordeste favorece a coleta de material particulado em ambos os locais, porém, outros parâmetros como pluviosidade, umidade, pressão atmosférica e velocidade do vento também podem afetar as concentrações no dia da coleta.

Outro fator de relevância para as concentrações diárias de MP_{10} é o dia da semana. Em dias úteis tem-se um maior tráfego veicular se comparado aos finais de semana, conseqüentemente, há maiores concentrações de material particulado suspenso na atmosfera pela contribuição antropogênica. Conforme observado, a maior concentração obtida no Centro foi numa sexta-feira, dia 11/08/2017, e na UFG-RC foi segunda-feira, dia 16/10/2017, já as menores concentrações foram num domingo, dia 03/12/2017, para o Centro e, no sábado, dia 10/03/2018, para UFG-RC.

Porém, como evidenciado, as condições meteorológicas de forma geral influenciaram de maneira significativa as concentrações do MP_{10} em ambos os locais de amostragem. Observou-se que a partir do final de outubro houve uma queda na pressão atmosférica, o que foi indicativo da proximidade de chuvas, e conseqüentemente as temperaturas diminuíram e houve um aumento na umidade do ar, com ventos de direção a noroeste e velocidade baixa, além dos dias de finais de semana favoreceram a queda nas concentrações do MP_{10} .

4.3 – COMPOSIÇÃO ELEMENTAR

Para a identificação dos elementos presentes nos filtros de MP_{10} foi utilizada a técnica de Espectrometria de Fluorescência de Raios X por Energia Dispersiva (EDXRF), que se trata de uma análise semi-quantitativa baseada na medida da intensidade de raios característicos emitidos pelos elementos que constituem a amostra, quando devidamente excitada. Essa técnica é muito utilizada para esse tipo de análise, pois permite a detecção rápida e simultânea dos elementos de forma não destrutiva e sem preparo de amostras.

Desta forma, inicialmente, foi realizada a análise do filtro sem conter a amostra, ou seja, o filtro em branco. A Tabela 4.4 ilustra o resultado apresentado pela análise. Cerca de 59% do filtro é composto por silício (Si), logo, por se tratar de filtro de fibra de vidro e a análise ser semi-quantitativa, esta expõe o que tem em abundância no filtro. Assim, além do Si os outros elementos majoritários foram: bário (Ba), potássio (K), alumínio (Al), zinco (Zn), cálcio (Ca), magnésio (Mg), ferro (Fe), estrôncio (Sr), cobre (Cu), enxofre (S) e zircônio (Zr).

TABELA 4.4: Resultado da análise em EDXRF do filtro em branco.

| Filtro Branco | | | | | | | | | | | | |
|----------------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|-------|
| Elementos | Si | Ba | K | Al | Zn | Ca | Mg | Fe | Sr | Cu | S | Zr |
| Percentual (%) | 59,32 | 16,14 | 8,37 | 5,43 | 5,43 | 4,68 | 0,10 | 0,08 | 0,003 | 0,02 | 0,02 | 0,009 |

Posteriormente, foram realizadas as análises das amostras de ambos os locais de estudo. Os elementos encontrados foram os mesmos contidos no filtro em branco, entretanto, com valores levemente diferentes, o que indica que houve a deposição de MP₁₀ no filtro. A fim de conhecer a homogeneidade da amostra de MP₁₀ no filtro, foram realizadas análises de todo o filtro, e foi possível observar que todos os quadrantes são homogêneos, desta forma, para a análise da amostra, a escolha do quadrante de estudo foi aleatória.

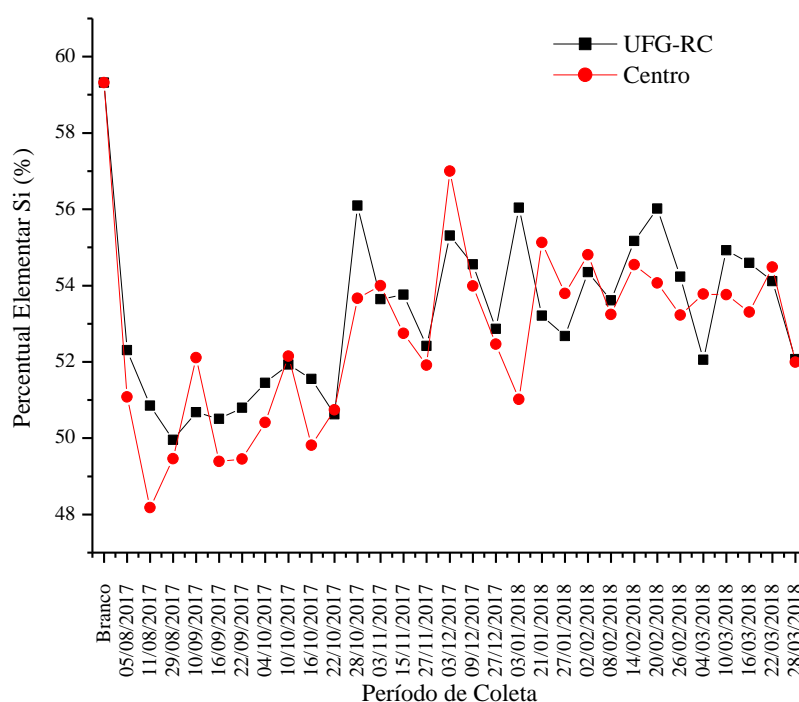
A Figura 4.12 ilustra a variação do Si nas amostras em ambos os locais, verifica-se que nos dias de chuva houve um aumento no seu percentual, fator esse que pode estar relacionado ao filtro ser de fibra de vidro, pois, quando se diminui a concentração do MP ressalta a presença do filtro, como observado a partir do mês de outubro. De agosto a outubro houve menores percentuais de Si, período onde se teve maiores concentrações de MP, portanto, diminuição do Si. De maneira geral, as concentrações de MP nos filtros do Centro foram maiores, assim, o percentual de Si foi menor se comparado ao da UFG-RC, que obteve maiores percentuais de Si e menores concentrações de MP₁₀. Em exceção de nove dias no decorrer do estudo, em que houve uma inversão, conforme Tabela 4.5.

TABELA 4.5: Variação do percentual de Si em ambos locais.

| Data | Si (%) MP ₁₀ UFG-RC | Si (%) MP ₁₀ Centro | Dia da Semana |
|------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------|
| 10/09/2017 | 50,680 | 52,110 | Domingo |
| 10/10/2017 | 51,928 | 52,150 | Terça-feira |
| 03/11/2017 | 53,645 | 53,999 | Sexta-feira |
| 03/12/2017 | 55,306 | 57,000 | Domingo |
| 21/01/2018 | 53,209 | 55,128 | Domingo |
| 27/01/2018 | 52,675 | 53,790 | Sábado |
| 02/02/2018 | 54,346 | 54,806 | Sexta-feira |
| 04/03/2018 | 52,051 | 53,774 | Domingo |
| 22/03/2018 | 54,111 | 54,482 | Quinta-feira |

Conforme Tabela 4.5, o percentual de Si foi maior no Centro em comparação à UFG-RC, fator esse que pode estar relacionado às condições pontuais no dia de amostragem, como a diminuição do tráfego veicular recorrente de feriado, finais de semana e condições meteorológicas adversas. Especificamente o dia 10/10/2017, terça-feira, feriado municipal, e dia 03/11/2017, pós feriado (final de semana prolongado). Os dias 10/09/2017, 03/12/2017, 21/01/2018 e 04/03/2018 ocorreram num domingo e 27/01/2018 num sábado. O dia 02/02/2018 sexta-feira, ocorreu alta pluviosidade. No dia 22/03/2018 quinta-feira verifica-se alto valor da umidade relativa do ar de 70%.

FIGURA 4.12: Variação temporal de silício.



A variação dos demais elementos dos filtros amostrados no Centro está nas Figuras 4.13 e 4.14. Observa-se que não houve variação significativa nos elementos Ba, K, Sr, Cu e Zr, porém, os elementos Al, Zn, Ca, Fe, Mg, S e P variaram de acordo com as condições meteorológicas. Nota-se que a partir de outubro houve uma queda nos seus percentuais, que podem estar relacionados com a presença de chuvas.

FIGURA 4.13: Variação temporal elementar (Ba, K, Al, Zn e Ca) do MP₁₀ – Centro.

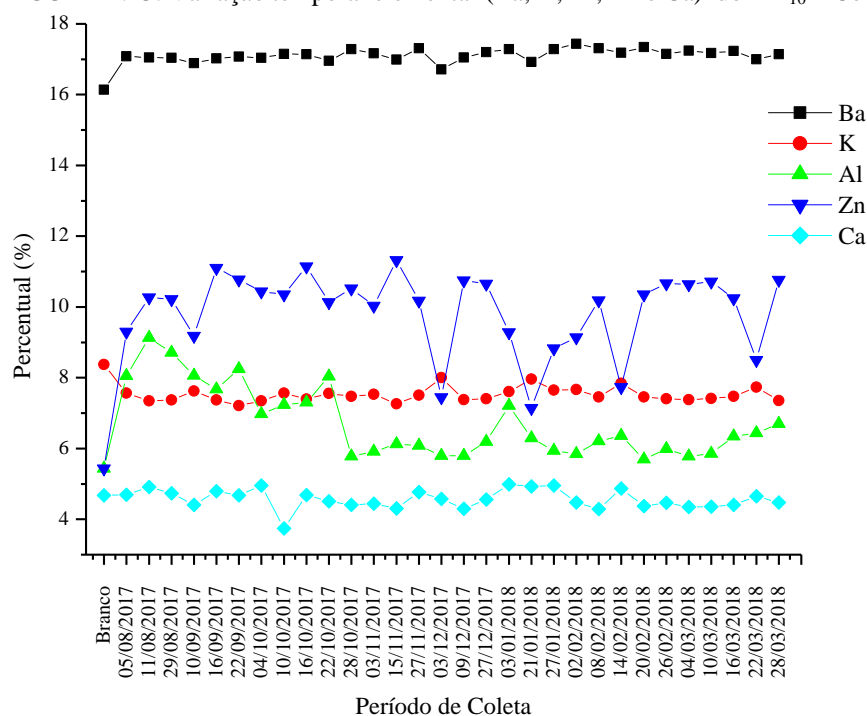
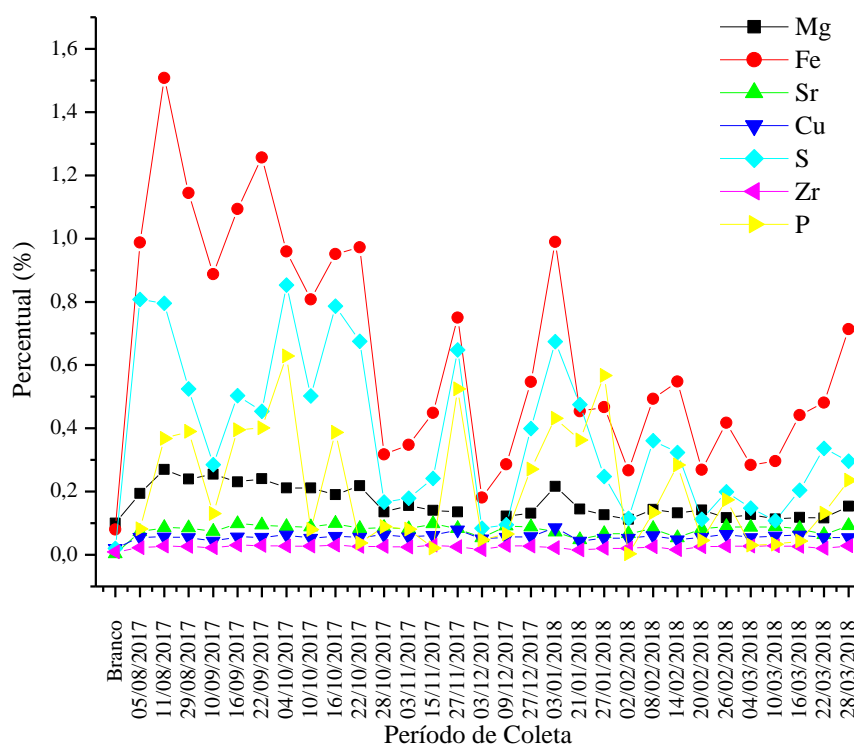


FIGURA 4.14: Variação temporal elementar (Mg, Fe, Sr, Cu, S, Zr e P) do MP₁₀ – Centro.



O resultado elementar das amostras da UFG-RC está ilustrado nas Figuras 4.15 e 4.16. Observa-se que para os elementos Ba, K, Ca, Mg, Zr e Cu não houve variação no decorrer do estudo, porém para os elementos Zn, Al, Fe, S, P e Sr ocorreu uma variação significativa. Assim como no resultado do Centro, a variação percentual destes elementos pode estar associada às condições meteorológicas.

Portanto, em ambos os locais, a variação elementar do Al pode estar relacionada à presença de chuva, uma vez que ao iniciar o período chuvoso houve uma queda nos percentuais. Já a variação do Zn foi de forma aleatória em ambos os locais. Observou-se que nos meses de agosto a outubro houve o aumento do Fe, período esse de seca, contudo diminuíram o S e o P e, a partir de outubro, ocorreu uma variação semelhante. Contudo, essa variação pode estar relacionada à ressuspensão do solo, haja vista que houve a ausência de chuvas e baixa umidade.

FIGURA 4.15: Variação temporal elementar (Ba, K, Al, Zn, Ca e Mg) do MP₁₀– UFG-RC.

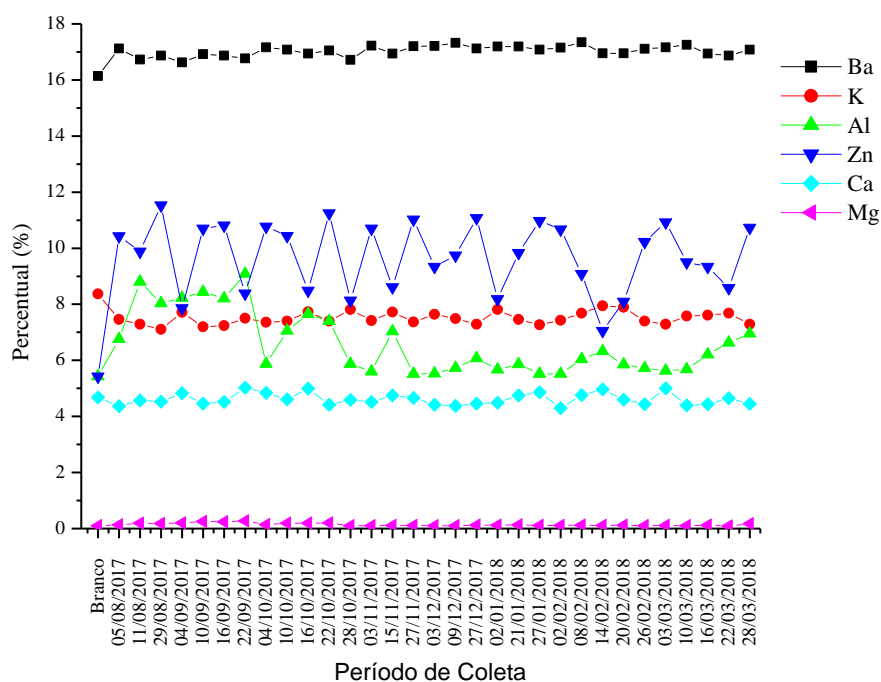
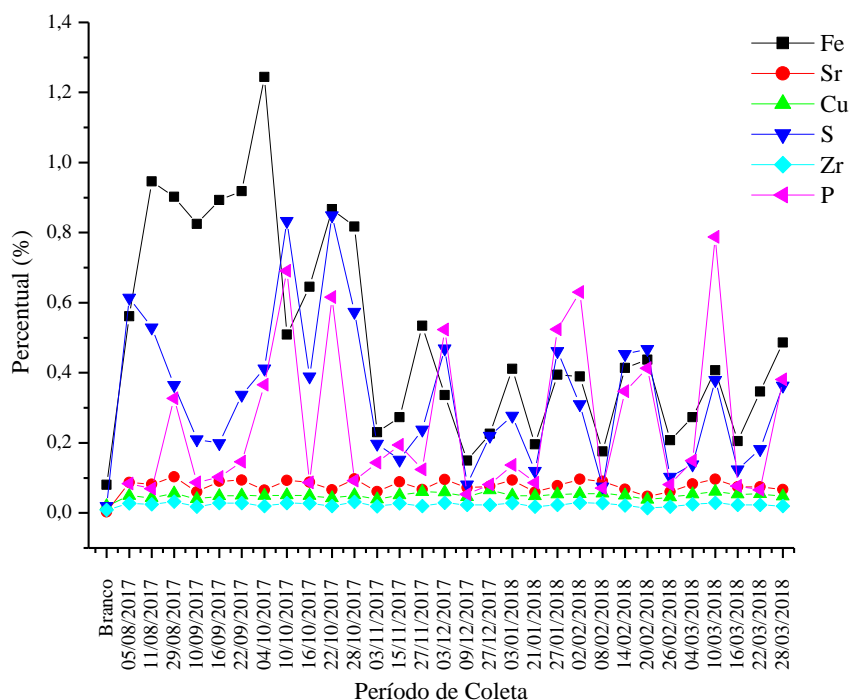


FIGURA 4.16: Variação temporal elementar (Fe, Sr, Cu, S, Zr e P) do MP₁₀ – UFG-RC.

Para tentar conhecer a fonte deste MP foram confeccionadas pastilhas de MP coletadas na superfície dos equipamentos, com posterior análise em EDXRF. A Tabela 4.6 demonstra os resultados.

TABELA 4.6: Análise do MP solto no Centro e na UFG-RC.

| MP Centro | | MP UFG-RC | |
|-----------|----------------|-----------|----------------|
| Elemento | Percentual (%) | Elemento | Percentual (%) |
| Fe | 35,574 | Fe | 60,255 |
| Si | 20,431 | Si | 9,185 |
| Ca | 20,206 | Ca | 8,719 |
| Al | 7,943 | S | 5,978 |
| Ti | 4,178 | Al | 4,610 |
| K | 3,111 | Ti | 4,017 |
| P | 2,582 | P | 1,485 |
| Cu | 1,858 | K | 1,034 |
| Mg | 1,554 | Mn | 0,993 |
| Zn | 0,716 | Zn | 0,909 |
| Sr | 0,592 | Cu | 0,909 |
| Mn | 0,540 | Br | 0,570 |
| Nb | 0,207 | Sr | 0,508 |
| Zr | 0,204 | Zr | 0,482 |
| Ni | 0,162 | Nb | 0,259 |
| Cr | 0,151 | Cr | 0,089 |

Conforme observado na Tabela 4.6, o material coletado na UFG-RC contém mais Fe em relação ao Centro, entretanto, os demais elementos obtiveram maiores percentuais no Centro. Não foi identificado o elemento Ba no material de estudo solto em nenhum dos locais, este elemento pode ser proveniente do filtro, pois foi encontrado no filtro em branco, e conforme observado, não houve variação no decorrer do estudo. O elemento P foi presente nos dois pontos de coleta, porém, foi ausente no filtro em branco, o que indica material do ambiente de estudo.

Sendo assim, a presença dos outros elementos indica ressuspensão do ambiente em estudo, deste modo, os elementos K, Al, Fe, Ca, P, Mg, Sr e Zr são típicos da composição do solo, e podem ser associados à crosta terrestre (ALGHAMDI et al., 2015). Já os elementos Cu, Zn, Fe podem ser provenientes do freio e desgaste dos pneus (KULSHRESTHA et al. 2009). Além disso, os elementos Ca e Mg podem ser provenientes de fontes adicionais como a exaustão dos motores, pois esses elementos são usados como aditivo em óleo do motor (HE et al., 2008), e se observa uma variação maior destes elementos no Centro. O S foi ausente na Tabela 4.6 para os MP solto do Centro e presente na UFG-RC, contudo, nas amostras foi presente em ambos os locais, o que indica ser proveniente da combustão de veículos movidos à gasolina, pois, segundo Brasseur et al. (1999), o S está relacionado a emissões da queima de combustíveis e formação de aerossol secundário pelo processo de conversão gás-partícula, em que as espécies são condensáveis e são incorporadas nas partículas.

Entretanto, como já citado em vários estudos, a presença destes elementos nos filtros de MP₁₀ pode ser prejudicial aos seres humanos, uma vez que, ingeridos ou inalados, os metais presentes nos mesmos não são degradáveis e podem se acumular nos tecidos e órgãos, podendo causar diversas doenças. Conforme citado por Jomova e Valko (2011), metais como Fe e Cu podem sofrer oxidação, e têm a capacidade de produzir radicais livres ativos como ânion superóxido e óxido nítrico em sistemas biológicos.

4.4 – TOXICIDADE

Foi realizado o estudo com bactérias, pois, de acordo com Silva et al. (2002), elas são indicadoras de contaminação ambiental, sendo assim, a *Staphylococcus aureus* possui contaminação aerógena e seu mecanismo de transmissão está nos aerossóis e na poeira e como risco para o ser humano possui o mecanismo de penetração

no hospedeiro da inalação podendo ser patógeno de pneumonia, furúnculo dentre outras. A *Escherichia coli* é um microrganismo patogênico que atua em infecções do trato urinário e pode ser usado como organismo indicador de contaminação em água, seu principal mecanismo de penetração no hospedeiro é através da ingestão, já a *Pseudomonas aeruginosa* causa infecção respiratória, seu mecanismo de transmissão é o solo contaminado e o mecanismo de penetração no hospedeiro é através da pele.

Os filtros foram esterilizados para realizar o estudo da composição do mesmo, ou seja, com a finalidade de entender se os metais presentes neste influenciam no crescimento dos microrganismos inoculados. As Figuras 4.17 e 4.18 ilustram o resultado após o tempo de incubação de ambos os locais, e, como observado, não houve inibição por parte dos metais presentes nos filtros, onde a letra B é referente ao filtro em branco e os números 1, 2, 3 e 4 referem-se aos quadrantes do filtro. O material presente nos filtros não foi maléfico às bactérias, ou seja, não foi tóxico, tendo em vista que não houve a interferência no halo de inibição do crescimento bacteriano formado ao redor do filtro, conforme Tabela 4.7. Portanto, os microrganismos não foram sensíveis ao material presente no filtro, ou a quantidade e/ou concentração de material presente no filtro foi pequena para trazer malefícios aos microrganismos.

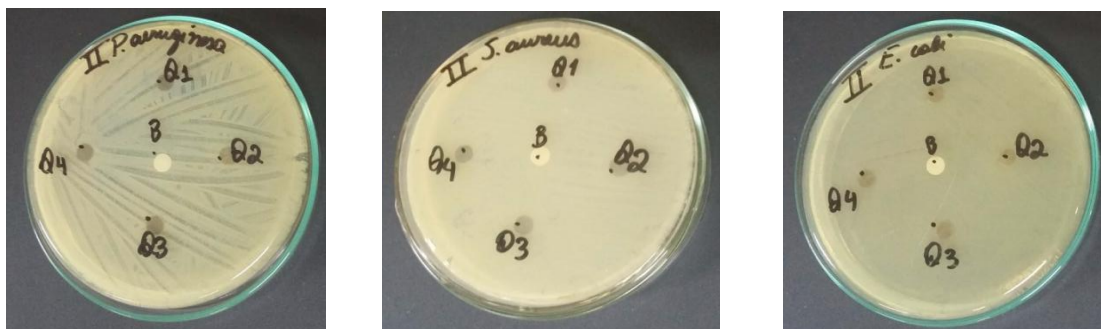
TABELA 4.7: Descreve e classifica o teste de toxicidade da amostra.

| Índice de Zona | Descrição | Classificação |
|----------------|---|---------------|
| 0 | Nenhuma zona sob ao redor da amostra | Nenhuma |
| 1 | Zona entre 0,1 – 0,2 cm ao redor da amostra | Fraca |
| 2 | Zona entre 0,3 – 0,4 cm ao redor da amostra | Leve |
| 3 | Zona entre 0,5 – 1,0 cm ao redor da amostra | Moderada |
| 4 | Zona maior que 1,0 cm ao redor da amostra | Severa |

FIGURA 4.17: Placas de Petri após crescimento das bactérias (UFG-RC).

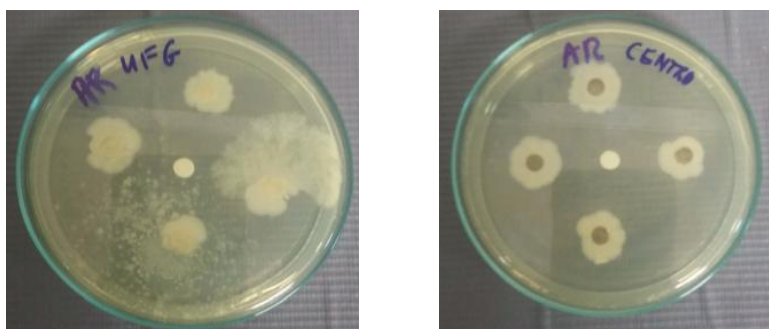


FIGURA 4.18: Placas de Petri após crescimento das bactérias (Centro).



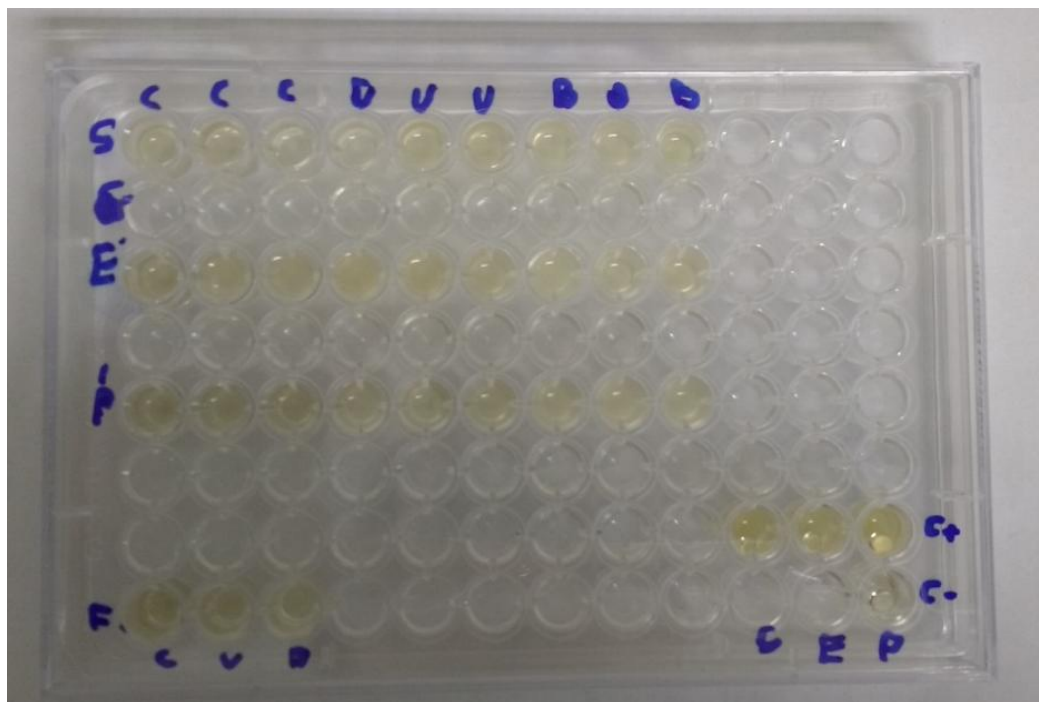
No filtro que não foi levado para esterilização houve o crescimento de microrganismos, portanto, através da Figura 4.19 é possível observar que houve a presença de microrganismos nos filtros, concluindo-se que estes existem presentes no ar atmosférico para ambos os locais de amostragem.

FIGURA 4.19: Placa de petri sem esterilização dos filtros da UFG-RC e Centro, respectivamente.



Foi realizado também o estudo da solução extraída do filtro. De acordo com a Figura 4.20, houve o crescimento em todos os poços, em exceção daquele que possui somente o controle negativo (meio de cultura). Portanto, nos filtros da UFG-RC e Centro não houve inibição do crescimento dos microrganismos, contudo, a fração solúvel do filtro, ou seja, possíveis metais solúveis em água, também não foram prejudiciais aos microrganismos ali presentes, pois não houve a inibição de seu crescimento. Nos poços onde havia somente a solução do filtro e o meio de cultura houve o crescimento, indicando que nos filtros há a presença de microrganismos.

FIGURA 4.20: Teste na placa de Elisa com o resultado após inoculação.



De acordo com os resultados observa-se que os microrganismos podem se associar ao material particulado, porém, nos testes realizados eles não foram prejudiciais (tóxicos) aos microrganismos em estudo (*Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* e *Pseudomonas aeruginosa*). Entretanto, a presença de microrganismos nos filtros pode ser prejudicial aos seres humanos, pois podem ser inalados juntamente com o MP₁₀ pelo fato de estarem associados.

CAPÍTULO 5
CONSIDERAÇÕES FINAIS

5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foram realizadas 30 amostragens de material particulado inalável (MP₁₀) ao longo do período de estudo que compreendeu os meses de agosto de 2017 a março de 2018, no campus da UFG-RC e Centro da cidade de Catalão – GO, através do equipamento AGV MP₁₀.

As concentrações de ambos os locais de estudo ficaram em conformidade com a legislação nacional. No entanto, há uma ressalva em relação às recomendações da OMS, pois foram ultrapassadas algumas vezes durante o estudo, portanto, seria interessante realizar uma revisão dos padrões nacionais, haja vista que estes foram adotados na década de 1990. Sendo assim, uma vez que existe a presença de MP₁₀ no município de Catalão, ocorre a necessidade da implementação dos padrões referentes a este MP, para, assim, promover mais esclarecimento à sociedade com relação à situação da qualidade do ar na cidade, bem como para o estado de Goiás. Portanto, a nível nacional a qualidade do ar na cidade de Catalão – Goiás está satisfatória.

As concentrações de ambos os locais de estudo sofreram alterações por conta das condições meteorológicas. Logo, de acordo com a correlação de Pearson, o parâmetro meteorológico que mais impacta na concentração do MP₁₀ é a pressão atmosférica, pois, com correlação positiva, indica que conforme houve um aumento na pressão a concentração também sofreu um aumento. E a umidade do ar teve correlação negativa com a concentração, pois as concentrações foram menores conforme a umidade diminuiu. As maiores concentrações foram no período de seca dos meses de agosto a outubro, e, conforme houve a presença de chuvas, ocorreu a queda nas concentrações que começaram no final de outubro.

No Centro da cidade foram observadas maiores concentrações em relação à UFG-RC, isso se deve ao tráfego veicular ser maior e ao local onde está o equipamento, o que ficou nítido pela coloração dos filtros após amostragem, visto que os filtros do centro ficaram bem mais escuros se comparados aos da UFG-RC, e para complementar realizou o estudo com *boxplot*, afim de, comparar as principais características do conjunto de dados amostrais de ambas as localidades.

As análises elementares foram realizadas de maneira qualitativa, e em ambos os locais se obteve os mesmos elementos, porém houve uma variação temporal destes elementos. Foi possível observar que os elementos também sofreram influência das condições meteorológicas, uma vez que conforme houve a presença de chuvas os

percentuais dos elementos diminuíram e o de silício aumentou devido à constituição do filtro. As maiores fontes destes elementos foram as emissões veiculares e a ressuspensão do ambiente.

Através do estudo de toxicidade com os microrganismos foi possível evidenciar que os mesmos podem estar associados ao material particulado. Porém, não houve a inibição do crescimento dos microrganismos por parte do filtro, sendo assim, o metal presente no filtro não foi prejudicial às bactérias em estudo, podendo ser devido à baixa concentração dos elementos.

Contudo, por mais que as concentrações estejam em conformidade com a legislação nacional pode ocorrer o efeito acumulativo no organismo, haja vista que no material particulado existe a presença de metais e microrganismos que, ao serem inalados por conta de seu pequeno tamanho, com o tempo poderão ser prejudiciais e provocar doenças respiratórias, neurológicas, cardiovasculares, entre outras.

CAPÍTULO 6
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABELSOHN, A.; STIEB, D. M. "Health effects of outdoor air pollution approach to counseling patients using the air quality health index". *Canadian Family Physician*, 57: 881-887, 2011.

ALGHAMDI, M. A.; SHAMY, M.; REDAL, M. A.; KHODER, M.; AWAD, A. H.; ELSEROUGY, S. "Microorganisms associated particulate matter: A preliminary study" *Science of The Total Environment*, 479-480: 109-116, 2014.

ALGHAMDI, M. A.; ALMAZROUI, M.; SHAMY, M.; ALKHALAF, A. K.; HUSSEIN, M. A.; KHODER, M. I. "Characterization and elemental composition of atmospheric aerosol loads during springtime dust storm in western Saudi Arabia," *Aerosol and Air Quality Research*, 15: 440-453, 2015.

ALMEIDA-SILVA, M.; CANHA, N.; FREITAS, M. C.; DUNG, H. M.; DIONÍSIO, I. "Air pollution at an urban traffic tunnel in Lisbon, Portugal-an INNA study." *Applied Radiation and Isotopes*, 69: 1586-1591, 2011.

ALMEIDA, T. S.; SANT'ANA, M. O.; CEUZ, J. M.; TORMEN, L.; BASCUÑAN, V. L. A. F.; AZEVEDO, P. A.; GARCIA, C. A. B.; ALVES, J. P. H.; ARAUJO, R. G. O. "Characterization and source identification of the total airborne particulate matter collected in an urban area of Aracaju, Northeast, Brazil". *Environmental Pollution*, 226: 444-451, 2017.

ATKINS, P. W.; OVERTON, T. L.; ROURKE, J. P.; WELLER, M. T.; ARMSTRONG, F. A. *Inorganic Chemistry*. 5 ed. Oxford University Press, 2010.

BAIRD, C. *Química Ambiental*. Porto Alegre: Bookman, 2002.

BARRY, R. G. & CHORLEY, R. J. *Atmosfera, Tempo e Clima*. 9ª edição, 2012.

BAUER, H.; CLAEYS, M.; VERMEYLEN, R.; SCHUELLER, E.; WEINKE, G.; BERGER, A.; PUXBAUM, H. "Arabitol and mannitol as tracers for a quantification of airborne fungal spores" *Atmospheric Environment*, 42:588-593, 2008.

BLOCK, M. L.; ELDER, A.; AUTEN, R. L.; BILBO, S. D.; CHEN, H.; CHEN, J. C.; CORY-SLECHTA, D. A.; COSTA, D.; DIAZ-SANCHES, D.; DORMAN, D. C.; GOLD, D. R. "The outdoor air pollution and brain health workshop". *Neuro Toxicology*, 33: 972-984, 2012.

BRAGA, B. *et al.* *Introdução à Engenharia Ambiental*. São Paulo: Prentice Hall, 2002.
BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 03, de 28 de junho de 1990. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR. *Diário Oficial da União, Brasília, DF*, 22 ago. 1990.

BRASIL, Governo do Estado de Goiás. Decreto Estadual nº 5.871, de 03 de dezembro de 2003. Introduz alterações no Regulamento aprovado pelo Decreto nº 1.745, de 06 de dezembro de 1979. Governo do Estado de Goiás, Goiânia GO. 03 dez. 2003.

BRASIL, Prefeitura Municipal de Catalão. Lei Municipal nº 2.214, de 05 de agosto de 2004. Dispõe sobre a política do meio ambiente, da melhoria da qualidade de vida e garantida das gerações futuras no Município de Catalão. Prefeitura Municipal de Catalão, Catalão – GO. 05 ago. 2004.

BRASSEUR, G. P.; ORLANDO, J. J.; TYNDALL, G. S. “Atmospheric chemistry and global change” Oxford University Press, Nova York, 1999.

BRITO, H. P. Análise das emissões atmosféricas geradas por veículos automotores em Natal-RN. Natal, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica – UFRN, 2005. Dissertação de mestrado, 42 p.

BROOK, R. D. “Cardiovascular effects of air pollution”. *Clinical Science*, 115: 175-187, 2008.

CAIXETA, D. S.; SILVA T. A.; SANTANA, F. M. F.; ALMEIDA, W. T. P. “Quality monitoring indoor air of a school of public network located in the city of Cuiaba-MT” *Engineering and Science*, 1: 20-28, 2016.

CAO, S.; DUAN, X.; ZHAO, X.; WANG, B.; MA, J.; FAN, D.; SUN, C.; HE, B.; WEI, F.; JIANG, G. “Health risk assessment of various metal(loid)s via multiple exposure pathways on children living near a typical lead-acid battery plant, China”. *Environmental Pollution*, 200: 16-23, 2015.

CANÇADO, J. E. D.; BRAGA, A.; PEREIRA, L. A. A.; ARBEX, M. A.; SALDIVA, P. H. N.; SANTOS, U. P. “Repercussões clínicas da exposição à poluição atmosférica”. *J Bras Pneumol*. 32: S5-S11, 2006.

CAZIER, F.; DEWAELE, D.; DELBENDE, A.; NOUALI, H.; GARÇON, G.; VERDIN, A.; COURCOT, D.; BOUHSINA, S.; SHIRALI, P. “Sampling analysis and characterization of particles in the atmosphere of rural, urban and industrial areas”. *Procedia Environmental Sciences*, 4: 218-227, 2011.

CETESB – Companhia ambiental do Estado de São Paulo.

<<http://ar.cetesb.sp.gov.br/poluentes/>> Acessado em 24 novembro 2017.

COMIM, T. T. Monitoramento ambiental em uma escola da cidade de São Carlos – SP: ênfase em qualidade do ar interior. São Carlos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, UFSCar, 2012. Dissertação de mestrado, 166 p.

DAS, R.; KHEZRI, B.; SRIVASTAVA, B.; DATTA, S.; SIKDAR, P. K.; WEBSTER, R. D.; WANG, X. “Trace element composition of PM_{2.5} and PM₁₀ from Kolkata – a heavily polluted Indian metropolis”. *Atmospheric Pollution Research*, 6: 742-750, 2015.

DESPRÉS, V.; HUFFMAN, A. J.; BURROWS, S. M.; HOOSE, C.; SAFATOV, A. S.; BURYAK, G., et al. “Primary biological particles in the atmosphere: a review.” *Tellus*, 64: 15598, 2012.

DIAS, J. W. C. ENERGÉTICA® Qualidade do Ar. Manual de Operação – Amostrador de Grande Volume para partículas de até 10µg. Rio de Janeiro, 2012.

- DONGARRÀ, G.; MANNO, E.; VARRICA, D.; VULTAGGIO, M. “Mass levels, crustal component and trace elements in PM₁₀ in Palermo, Italy.” *Atmospheric Environment*, 41: 7977-7986, 2007.
- FILHO, V. F. N. “Técnicas analíticas nucleares de Fluorescência de Raios X por Dispersão de Energia (ED-XRF) e por Reflexão Total (TXRF)”. Departamento de Ciências Exatas/ESALQ, Laboratório de Instrumentação Nuclear/CENA, 1999.
- GAO, Q.; XU, Q.; GUO, X.; FAN, H.; ZHU, H.,” Particulate matter air pollution associated with hospital admissions 4 for mental disorders: A time-series study in Beijing, China”. *European Psychiatry*, <http://doi.org/10.1016/j.eurpsy.2017.02.492>, 2017.
- HARRISON, R. M.; YIN, J. “Particulate matter in the atmosphere: which particle properties are important for its effects on health?” *Science of The Total Environment*, 249: 85-101, 2000.
- HE, L. -Y.; HU, M.; ZHANG, Y.-H.; HUANG, X.-F.; YAO, T. -T. “Fine particle emissions from on-road vehicles in the Zhujiang Tunnel, China.” *Environmental Science Technology*, 42: 4461-4466, 2008.
- HEUSINKVELD, H. J.; WAHLE, T.; CAMPBELL, A.; WESTERINK, R. H. S.; TRAN, L.; JOHNSTON, H.; STONE, V.; CASSEE, F. R.; SCHINS, R. P. F. “Neurodegenerative and neurological disorders by small inhaled particles”. *NeuroToxicology*, 56: 94-106, 2016.
- HWANG, B. F.; LEE, Y. L. “Air pollution and prevalence of bronchitic symptoms among children in Taiwan”. *Chest*, 138: 956-964, 2010.
- IARC – International Agency for Research on Cancer. “Agents Classified by the IARC Monographs”. 1-103, Lyon France. 2012.
- IBGE – Instituto Brasileiro de geografia e Estatística.
<<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/go/catalogo/pesquisa/17/15752>> Acessado em: 07 de novembro de 2017.
- IBGE – Instituto Brasileiro de geografia e Estatística.
<<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/ecnomia/comercioeservico/pas/pas2006>>. Acessado em: 11 janeiro 2018.
- INAL, A.; KARAKOC, G. B.; ALTINTAS, D. U.; PINAR, M.; CETER, T.; YILMAZ, M.; KENDIRLI, S.G. “Effect of Outdoor Fungus Concentrations on Symptom Severity of Children with Asthma e/or Rhinitis Monosensitized to Molds” *Asian Pacific Journal of Allergy e Immunology*, 26:117-17, 2010.
- INNOCENTE, E.; SQUIZZATO, S.; VISIN, F.; FACCA, C.; RAMPAZZO, G.; BERTOLINI, V.; GANDOLFI, I.; FRANZETT, A.; AMBROSINI, R.; BESTETTI, G. “Influence of seasonality, air mass origin and particulate matter chemical composition on airborne bacterial community structure in the Po Valley, Italy”. *Science of The Total Environment*, 593-594: 677-687, 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Disponível em:
<<http://www.inmet.gov.br/portal/>> Acesso em 20 de fevereiro de 2018.

JACONIS, S. Y.; CULLEY, T. M.; MEIER, A. M. “Does particulate matter along roadsides interfere with plant reproduction? A comparison of effects of different road types on *Cichorium intybus* pollen deposition and germination”. *Environmental Pollution*, 222: 261-266, 2017.

JARDIM, C. H. “Relações entre temperatura, umidade relativa do ar e pressão atmosférica em área urbana: comparação horária entre dois bairros no município de São Paulo – SP. *Geografias*, 7: 128-142, 2011.

JOMOVA, K.; VALKO, M. “Advances in metal-induced oxidative stress and human disease.” *Toxicology*, 283: 65-87, 2011.

JONES, A. M.; HARRISON, R. M. “The effects of meteorological factors on atmospheric bioaerosol concentrations: A Review.” *Science of The Total Environment*, 326: 151-180, 2004.

KARAR, K., GUPTA, A. K. “Source apportionment of PM₁₀ at residential and industrial sites of an urban region of Kolkata, India”. *Atmospheric Research*, 84: 30-41, 2007.

KIM, K. H.; JAHAN, S. A.; KABIR, E. “A review on human health perspective of air pollution with respect to allergies and asthma”. *Environment International*, 59: 41-52, 2013.

KIM, K.-H.; KABIR, E.; KABIR, S. “A review on the human health impact of airborne particulate matter”. *Environment International*. 74: 136–143, 2015.

KULSHRESTHA, A.; SATSANGI, P. G.; MASIG, J.; TANEJA, A. “Metal concentration of PM_{2,5} and PM₁₀ particles and seasonal variations in urban and rural environmental of Agra, India.” *Science of The Total Environmental*, 407: 6196-6204, 2009.

LAURENT, O.; PREDRONO, G.; SEGALA, C.; FILLEUL, L.; HAVARD, S.; DEGUEN, S.; SCHILLINGER, C; RIVIERE, E.; BARD, D. “ Air pollution, asthma attacks, and socioeconomic deprivation: A small-area case-crossover study” *American Journal of Epidemiology*, 168: 58-65, 2008.

LANDKICZ, Y.; LEDOUX, F.; ANDRÉ, V.; CAZIER, F.; GENEVRAY, P.; DEWAELE, D.; MARTIN, P. J.; LEPERS, C.; VERDIN, A.; COURCOT, L.; BOUSHINA, S.; SICHEL, F.; GUALTIERI, M.; SHIRALI, P.; COURCOT, D.; BILLET, S. “Fine and ultrafine atmospheric particulate matter at a multi-influenced urban site: Physicochemical characterization, mutagenicity and cytotoxicity”. *Environmental Pollution*, 221: 130-140, 2017.

LEE, S.; HO, C.-H.; CHOI, Y.- S. "High-PM₁₀ concentration episodes in Seoul, Korea: Background sources and related meteorological conditions". *Atmospheric Environment*, 45: 7240-7247, 2011.

LI, R.; MITTELSTEIN, D.; KAM, W.; PAKBIN, P.; DU, Y.; TINTUT, Y.; NAVAB, M.; SIOUTAS, C.; HSIAT, T. "Atmospheric ultrafine particles promote vascular calcification via the NF- κ B signaling pathway". *American Journal of Physiology - Cell Physiology*, 304: 362-369, 2013.

LYNCH, H. N.; LOFTUS, C. T.; COHEN, J. M.; KERPER, L. E.; KENNEDY, E. M.; GOODMAN, J. E. "Weight-of-evidence evaluation of associations between particulate matter exposure and biomarkers of lung cancer" *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 82: 53-93, 2016.

MAHER, B.; AHMED, I. A. M.; KARLOUKOVSKI, V.; MACLAREN, D. A.; FOULDS, P. G.; ALLSOP, D.; MANN, D. M. A.; TORRES-JARDÓN, R.; CLADERON-GARCIDUENAS, L. "Magnetite pollution nanoparticles in the human brain". *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 133: 10797-10801, 2016.

MATEUS, V. L.; MONTEIRO, I. L. G.; ROCHA, R. C. C.; SAINT'PIERRE, T. D.; GIODA, A. "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". *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, 86: 131-136: 2013.

PACHECO, M. T.; PARMIGIANI, M. M. M.; ANDRADE, M. F.; MORAWSKA, L.; KUMAR, P. "A review of emissions and concentrations of particulate matter in the three major metropolitan areas of Brazil". *Journal of Transport & Health*, 4: 53-72, 2017.

MARRERO, J.; REBAGLIATI, R. J.; GÓMEZ, D.; SMICHOWSKI, P. "A study of uniformity of elements deposition on glass fiber filters after collection of airborne particulate matter (PM-10), using a high-volume sampler". *Talanta*, 68: 442-447, 2005.

MELO, G. B. *Efluentes atmosféricos e qualidade do ar*. Belo Horizonte: UFMG, 1997.
MILLER, J.N. & MILLER, J.C. *Statistics and Chemometrics for Analytical Chemistry*, 6th ed. Pearson Education Limited, Harlow, 2010.

MINGKUI, H.; HAO, W. "Concentrations and chemical forms of potentially toxic metals in road-deposited sediments from different zones of Hangzhou, China". *Journal of Environmental Sciences*, 21: 625-631, 2009.

MORGENSTERN, V.; ZUTAVERN, A.; CYRRYS, J.; BROCKOW, I.; KOLETZKO, S.; KRAMER, U.; BEHRENDT, H. HERBARTH, O.; VON BERG, A.; BAUER, C. P.; WICHMANN, H. E.; HEINRICH, J.; GRP, G. S.; GRP, L. S. "Atopic diseases, allergic sensitization, and exposure to traffic-related air pollution in children". *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 177: 1331-1337, 2008.

MORRIS, A.; BECK, J. M.; SCHLOSS, P. D.; CAMPEBELL, T. B.; CROTHERS, K.; CURTIS, J. L.; FLORES, S. C.; FONTENOT, A. P.; GHEDIN, E.; HUANG, L.;

JABLONSKI, K.; KLEERUP, E.; LYNCH, S. V.; SODERGREN, E.; TWIGG, H.; YOUNG, V B.; BASSIS, C. M.; VENKATARAMAN, A.; SCHMIDT, T. M.; WEINSTOCK, G. M. “Comparison of the respiratory microbiome in healthy nonsmokers and smokers”. *Am J respire Crit Care Med.* 15: 1067-1075, 2013.

NASTOS, P. T.; PALIATSOS, A. G.; ANTHRACOPOULOS, M. B.; ROMA, E. S.; PRIFTIS, K. N. “Outdoor particulate matter and childhood asthma admissions in Athens, Greece: A time-series study”. *Environmental Health*, 45: 9, 2010.

OGUNDELE, L. T.; OWOADE, O. K.; HOPKE, P. K.; OLISE, F. S. “Heavy metals in industrially emitted particulate matter in Ibe-Ife, Nigeria”. *Environmental Research*, 156: 320-325, 2017.

OPLUSTIL, C. P.; ZOCCOLI, C. M.; TOBOUTI, N. R.; SINTO, S. I. Testes de Sensibilidade aos Antimicrobianos. In: *Procedimentos Básicos em Microbiologia Clínica*. 3º ed. Sarvier: São Paulo, 315:356, 2010.

PAKKANEN, T. A.; KEMINEN, V.-M.; KORHONEN, C. H.; HILAMO, R. E.; AARINO, P.; KOSKENTALO, T.; MAENHAUT, W. “Urban and Rural Ultrafine (PM_{0.1}) Particles in the Helsinki Area”. *Atmospheric Environmental*, 35: 4593–4607, 2001.

PARREIRA, P. S. “Metodologia de EDXRF e aplicações com um sistema portátil.” Universidade Estadual de Londrina, LFNATEC - Publicação Técnica do Laboratório de Física Nuclear Aplicada, 1º ed.10, 2006.

PASSOS, F. F. C.; GODOI, E. L.; ARAÚJO, E. S. “Poluição do ar: análise da concentração de partículas totais em suspensão em Goiânia, Goiás”. XIV ENEEAmb, II Fórum Latino e I SBEA – Centro – Oeste, Brasília, 2016, p. 1-8.

PEDROSA, L. E. A apropriação do relevo urbano e suas implicações sócio-ambientais: um estudo de caso em Catalão (GO). Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Geografia - IG/UFU, 2001. Dissertação de mestrado, 6 p.

PENARD-MORAND, C.; RAHERISON, C.; CHARPIN, D.; KOPFERSCHMITT, C.; LAVAUD, F.; CAILLAUD, D.; ANNESI-MAESANO, I. “Long-term exposure to close-proximity air pollution and asthma and allergies in urban children”. *European Respiratory Journal*, 36: 33-40, 2010.

QUEIROZ, P. G. M.; JACOMINO, V. M. F., MENEZES, M. A. B. “Composição elementar do material particulado presente no aerossol atmosférico do município de Sete Lagoas, Minas Gerais”. *Química Nova*, 30: 1233-1239, 2007.

RAASCHOU-NIELSEN , O.; ANDERSEN, Z. J.; BEELEN, R.; SAMOLI, E.; STAFOGGIA. M.; WEINMAYR, G.; HOFFMANN, B.; FISCHER, P.; NIEUWENHUIJSEN, M. J.; BRUNEKREEF, B.; XUN, W. W.; KATSOUYANNI, K.; DIMAKOPOULOU, K.; SOMMAR, J.; FORSBERG, B.; MODIG, L.; OUDIN, A.; OFTEDAL, B.; SCHWARZE, P. E.; NAFSTAD, P.; DE FAIRE, U.; PEDERSEN, N. L.; OSTENSON, C. G.; FRATIGLIONI, L.; PENELL, J.; KOREK, M.; PERSHAGEN, G.; ERIKSEN, K. T.; SØRENSEN, M.; TJØNNELAND, A.; ELLERMANN, T.;

EEFTENS, M.; PEETERS, P. H.; MELIEFSTE, K.; WANG, M.; BUENO-DE-MESQUITA, B.; KEY, T. J.; DE HOOGH, K.; CONCIN, H.; NAGEL, G.; VILIER, A.; GRIONI, S.; KROGH, V.; TSAI, M. Y.; RICCIERI F.; SACERDOTE, C.; GALASSI, C.; MIGLIORE, E.; RANZI, A.; CESARONI, G.; BADALONI, C.; FORASTIERE, F.; TAMAY, I.; AMIANO, P.; DORRONSORO, M.; TRICHOPOULOU, A.; BAMIA, C.; VINEIS, P.; HOEK, G. "Air pollution and lung cancer incidence in 17 European cohorts: prospective analyses from the European Study of Cohorts for Air Pollution Effects (ESCAPE)". *Lancet Oncol*, 14: 813-822, 2013.

REINIKAINEN, L. M.; JAAKKOLA, J. J. K. "Significance of humidity and temperature on skin and upper airway symptoms". *Indoor Air*, Helsinki, 13: 433-352, 2003.

ROCHA, J. C.; ROSA, A. H.; CARDOSO, A. A. *Introdução à química ambiental*. 2º ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.

ROMUALDO, L. L.; SANTOS, R. S.; LIMA, F. C.; ANDRADE, L. S.; FERREIRA, I. M.; POZZA, S. A. "Environmental impact monitoring of a minero-chemical complex in Catalão urban area of PTS, MP₁₀ and MP_{2.5} by EDX characterization." *Chemical Engineering Transactions*, 43: 1909-1914, 2015.

RUCKERL, R.; SCHNEIDER, A.; BREITNER, S.; CYRYS, J.; PETERS, A. "Health effects of particulate air pollution: A review of epidemiological evidence". *Inhal Toxicol*, 23: 555- 92, 2011.

RUMCHEV, K.; SPICKETT, J.; BULSARA, M.; PHILLIPS, M.; STICK, S. "Association of domestic exposure to volatile organic compounds with asthma in young children". *Thorax*, 59: 746-751, 2004.

SALMA, I., MAENHAUT, W. "Changes in elemental composition and mass of atmospheric aerosol pollution between 1996 and 2002 in a Central European city". *Environmental Pollution*, 143: 479-488, 2006.

SÁNCHEZ-CCOYLLO, O. R., ANDRADE, M. F. "The influence of meteorological condition on the behavior of pollutants concentrations in São Paulo, Brazil". *Environmental Pollution*, 116: 257-263, 2002.

SHAH, M. H. & SHAHEEN-NAZIR, R. "Assessment of the trace elements level in urban atmospheric particulate matter and source apportionment Islamabad, Pakistan". *Atmospheric Pollution Research*, 3: 39-45, 2012.

SCHWARZE, P. E.; OVREVIK, J.; HETLAND, R., B.; BECHER, R.; CASSEE, F., R.; LAQ, M.; LOVIK, M.; DYBING, E.; REFSNES, M. "Importance of size and composition of particles for effects on cells in vitro". *Inhalation Toxicology*, 19: 17-22, 2007.

SKOOG, D. A.; WEST, D. W.; HOLLER, F. J.; CROUCH, S. R. *Fundamentos de Química Analítica*. Tradução de Marco Grassi. 8 ed. São Paulo: Cengage Learning, 2010.

- SEINFELD, J. H. "Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution". 1986.
- SILVA, A. C. N.; BERNARDES, R. S.; MORAES, L. R. S.; DOS REIS, J. D. P. "Critérios adotados para seleção de indicadores de contaminação ambiental relacionados aos resíduos sólidos de serviços de saúde: uma proposta de avaliação". *Cad. Saúde Pública*, 18:1401-1409, 2002.
- SILVA, T. P.; COSTA, A. C.; RODRIGUES, R. A.; TRIMIDADE, S. P. "Distribuição geográfica das chuvas no espaço urbano de Catalão em 2015-2016 (GO). XVIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada e I Congresso Nacional de Geografia Física, Campinas – SP, 2017, p. 2094-2102.
- SINGH, S.; ELUMALAI, S. P.; PAL, A. K. "Rain pH estimation based on the particulate matter pollutants and wet deposition study". *Science of The Total Environment*, 563-564, 293-301, 2016.
- SIPONEN, T.; YLI-TOUMI, T.; AURELA, M.; DUFVA, H.; HILLAMO, R.; HIRVONEN, M-R.; HUTTUNEN, K.; PEKKANEN, J.; PENNANEN, A.; SALONEN, I.; TIITTANEN, P.; SANONEN, RO.; LANKI, T. "Source-specific fine particulate air pollution and systemic inflammation in ischemic heart disease patients". *Occup Environ Med*, 72: 277-283, 2015.
- SIPPULA, O.; RINTALA, H.; HAPPO, M.; JALAVA, P.; VIRÉN, A. "Characterization of chemical and microbial species from size-segregated indoor and outdoor particulate samples" *Aerosol Air Qual Res*, 13:1212-1230, 2013.
- VELLINGIRI, K.; KIM, K.; MA, C.; KANG, C.; LEE, J.; KIM, I.; BROWN, R. J. C. "Ambient particulate matter in a central urban area of Seoul, Korea". *Chemosphere*, 119: 812-918, 2015.
- VIEIRA, N. R. *Poluição do ar: indicadores ambientais*. Rio de Janeiro: E-papers, 2009.
- XIE, R. K.; SEIP, H. M. LEINUM, J. R.; WINJE, T. XIÃO, J. S. "Chemical characterization of individual particles (PM₁₀) from ambient air in Guiyang City, China". *Science of The Total Environment*, 343: 261-272, 2005.
- WATANABE, M.; NOMA, H.; KURAI, J.; HANTAN, D.; BURIOKA, N.; NAKAMOTO, S.; SANO, H.; TANIGUCHI, J.; SHIMIZU, E. "Association between outdoor fungal concentrations during winter and pulmonary function in children with and without asthma." *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13: 1-11, 2016.
- WHO – World Health Organization – Report on a Working Group meeting. Bonn: WHO, 2005.
- WHO – World Health Organization – Reducing global health risks through mitigation of short-term climate pollutants. WHO, 2015.
- WHO – World Health Organization – Ambient air pollution: a global assessment of exposure and burden of disease. WHO, 2016.

YANAGI, Y. Estudo da influencia do material particulado na incidência e mortalidade por câncer na cidade de São Paulo. São Paulo, Programa de Pós-Graduação em Saúde Pública – USP, 2010. Dissertação de mestrado, 88 p.

YANG, H.; CHANG, S.; LU, R.; LIOU, D. “The effect of particulate matter size on cardiovascular health in Taipei Basin, Taiwan”. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 137: 261-268, 2016.

YANJUN, M.; RENJIE, C.; GUOWEI, P.; XIAOHUI, X.; WEIMIN, S.; BINGHENG, C.; HAIDONG, K. “Fine particulate air pollution and daily mortality in Shenyang, China”. *Science of The Total Environment*, 409: 2473-2477, 2011.

YATKIN, S. & BAYRAM, A. “Elemental composition and sources of particulate matter in the ambient air of a metropolitan city”. *Atmospheric research*, 85: 126-139, 2007.

ANEXO

ANEXO

Equações para o cálculo da concentração do MP₁₀.

A concentração do MP₁₀ é dada pela seguinte equação:

$$C_{MP_{10}} = \frac{M_l}{V_p} \cdot 10^6$$

Onde,

$C_{MP_{10}}$ = concentração de MP₁₀ no ar ambiente (µg/m³)

M_l = ganho líquido de massa no filtro durante a amostragem (g)

V_p = volume total amostrado em unidade padrão de volume (m³)

10^6 = fator de conversão (µg/g)

O volume de ar amostrado é determinado a partir da vazão média e do tempo total de amostragem, conforme equação:

$$V_p = (Q_p) \cdot t$$

Onde,

Q_p = vazão volumétrica padrão média para o período de amostragem (m³ padrão/min.)

t = tempo decorrido de amostragem (min.)

A vazão Q_p é obtida a partir da correlação:

$$Q_p = Q_r \left(\frac{P_m}{P_o} \right) \cdot \left(\frac{T_p}{T_m} \right)$$

Onde,

Q_p = vazão média para o período de amostragem (m³/min.)

Q_r = vazão real para o período de amostragem (m³/min.)

P_m = pressão barométrica ambiente média durante o período de amostragem (mm Hg)

P_o = pressão barométrica padrão (760 mm Hg)

T_m = temperatura ambiente média (K)

T_p = temperatura padrão (298 K)

E a vazão real média é dada pela equação:

$$Q_r = \frac{1}{a_2} \left[\sqrt{dHc \left(\frac{T_2}{P_2} \right)} - b_1 \right]$$

Onde,

Q_r = vazão volumétrica real média para o período de amostragem (mm Hg)

P_m = pressão barométrica média para o período de amostragem (mmHg)

P_o = pressão de estagnação média (mm Hg)

T_m = temperatura ambiente média para o período de amostragem (K)

b_2 = inclinação da reta de calibração do equipamento

A pressão de estagnação média é dada por conforme Equação 5:

$$P_o = P_m - dH_f$$

Onde,

P_o = pressão de estagnação média (mm Hg)

P_m = pressão barométrica média para o período de amostragem (mm Hg)

dH_f = pressão diferencial no filtro (mm Hg)

A pressão diferencial no filtro (dH_f) é a media das leituras inicial (dH_{fi}) e final (dH_{ff}) da pressão de estagnação diferencial:

$$dH_f = \frac{dH_{fi} + dH_{ff}}{2}$$

Esse valor é dado em cmH₂O e deve ser corrigido para mmHg pela equação:

$$dH_{fHg} = \frac{dH_f}{1,36}$$

Onde,

dH_{fHg} = pressão diferencial no filtro (mmHg)

1,36 = fator de conversão

FIGURA A: Planilha para cálculo da concentração do MP₁₀.

| AGV MP ₁₀ - AMOSTRAGEM de Cálculo | | Número: | | 09/005 | | |
|--|-----------------------------|-------------------------------------|---|-------------------------------------|------------------|----------|
| | | Data: | | 29/20/09 | | |
| | | Digitador: | | José | | |
| | | Conferenciasta: | | Maria | | |
| DADOS DO EQUIPAMENTO | | | | | | |
| AGV MP ₁₀ N° | MP10-0020 | | CVVGV N° | CVV-0240 | | |
| LOCAL E PERÍODO DE AMOSTRAGEM | | | | | | |
| Local: | Energética - Rio | | | N° Estação: | E1 | |
| Período nominal de amostragem: | 24 horas | | | | | |
| Período de amostragem | Data-início: | 29/10/09 | Data-final: | 30/10/09 | | |
| | Hora-início: | 23:59 | Hora-final: | 23:59 | | |
| DADOS AMBIENTAIS | | | | | | |
| Pressão barom. Média (P _m ou P _s): | 758 | mmHg | Temp.média (T _m ou T _s): | 27 | °C | |
| Pressão barom. CONAMA (P _p): | 760 | mmHg | | 25 | °C | |
| DADOS DA ÚLTIMA CALIBRAÇÃO DO AMOSTRADOR | | | | | | |
| Na forma de tabela de vazão? | Sim | <input checked="" type="checkbox"/> | Não | <input type="checkbox"/> | | |
| Na forma de equação (da reta)? | Sim | <input type="checkbox"/> | Não | <input checked="" type="checkbox"/> | | |
| Se na forma de reta, apresente dados: | a ₂ | ---- | b ₂ = | ---- | r ₂ = | |
| Data da última calibração ou verificação: | 20/10/09 | | | | | |
| DADOS (LEITURAS) DO CAMPO | | | | | | |
| Pressão diferencial no filtro (cm H ₂ O): | Inicial (dH _i): | | | Final (dH _f): | | |
| | p/cima | p/baixo | total | p/cima | p/baixo | total |
| | 21,4 | 21,0 | 42,4 | 21,9 | 21,7 | 43,6 |
| Leitura do horâmetro: | Inicial: | | 53,73 | Final: | | 77,73 |
| Leitura média da carta gráfica (D): | 5,5 | | | | | |
| DADOS DO FILTRO | | | | | | |
| N° do filtro: | 09/0002 | Peso inicial (g): | 2,8231 | Peso final (g): | 2,8975 | |
| CÁLCULOS | | | | | | |
| Pressão diferencial média (dH _i), em cm H ₂ O [(dH _i) = (dH _i + dH _f)/2] | = | | | | | 43,0 |
| Pressão diferencial média (dH _{ifg}), em mmHg [(dH _{ifg}) = (dH _i)/1,13] | = | | | | | 31,6 |
| Pressão de estagnação (P _o), em mmHg [P _o = P _m - dH _{ifg}] | = | | | | | 726,4 |
| Taxa de pressão média [P _o /P _s] | = | | | | | 0,958 |
| Vazão média nas condições reais (Q _r), em m ³ /min - obtida da tabela de vazão | = | | | | | 1,163 |
| Vazão média nas condições padrão (Q _p), em m ³ /min, [Q _p = (Q _r)(P _m /P _p)(T _p /T _m)] | = | | | | | 1,152 |
| Período de amostragem (t), em minutos | = | | | | | 1440 |
| Volume nas condições padrão (V _p), em m ³ , [V _p = (Q _p)(t)] | = | | | | | 1.659,18 |
| Peso líquido do material particulado (MP), em g, [M _l = M _f - M _i] | = | | | | | 0,0744 |
| Concentração de material particulado no ar (C _{MP10}), em µg/m ³ [C _{MP10} = (M _l)(10 ⁶)/V _p] | = | | | | | 44,84 |
| CONTROLE DA QUALIDADE | | | | | | |
| Q _r entre 1,05 e 1,21 m ³ /min? | Sim | <input checked="" type="checkbox"/> | Não | <input type="checkbox"/> | | |
| Amostrador calibrado (ou verificado) conforme programação? | Sim | <input checked="" type="checkbox"/> | Não | <input type="checkbox"/> | | |
| Registrador de eventos acusou alguma anormalidade? | Sim | <input type="checkbox"/> | Não | <input checked="" type="checkbox"/> | | |
| Algum evento incomum durante a amostragem? | Sim | <input type="checkbox"/> | Não | <input checked="" type="checkbox"/> | | |

Assinatura do digitador

Assinatura do conferenciasta

Fonte: Dias, (2012).