



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA

---

ANDRESSA FERREIRA PIMENTA

***BLACK CARBON E MATERIAL PARTICULADO FINO  
ATMOSFÉRICO EM AMBIENTES INTERNO E EXTERNO.  
EMISSÕES PROVENIENTES DA COMBUSTÃO DE  
MISTURAS DE DIESEL/BIODIESEL (B10 E B11)***

ANDRESSA FERREIRA PIMENTA

***BLACK CARBON* E MATERIAL PARTICULADO FINO  
ATMOSFÉRICO EM AMBIENTES INTERNO E EXTERNO.  
EMISSÕES PROVENIENTES DA COMBUSTÃO DE  
MISTURAS DE DIESEL/BIODIESEL (B10 E B11)**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Londrina – UEL, Centro de Ciências Exatas - Programa de Pós-Graduação em Bioenergia, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Bioenergia.

Orientadora: Profa. Dra. Maria Cristina Solci.

Londrina  
2021

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

P662 Pimenta, Andressa Ferreira.  
*Black carbon* e material particulado fino atmosférico em ambientes interno e externo. Emissões provenientes da combustão de misturas de diesel/biodiesel (B10 e B11). / Andressa Ferreira Pimenta. - Londrina, 2021.  
112 f. : il.

Orientador: Maria Cristina Solci.  
Dissertação (Mestrado em Bioenergia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Bioenergia, 2021.  
Inclui bibliografia.

1. Combustão - Tese. 2. Emissões veiculares - Tese. 3. Poluentes atmosféricos - Tese. 4. Biocombustíveis - Tese. I. Solci, Maria Cristina. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Exatas. Programa de Pós-Graduação em Bioenergia. III. Título.

CDU 662

ANDRESSA FERREIRA PIMENTA

**BLACK CARBON E MATERIAL PARTICULADO FINO  
ATMOSFÉRICO EM AMBIENTES INTERNO E EXTERNO.  
EMISSÕES PROVENIENTES DA COMBUSTÃO DE  
MISTURAS DE DIESEL/BIODIESEL (B10 E B11)**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Londrina – UEL, Centro de Ciências Exatas - Programa de Pós-Graduação em Bioenergia, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Bioenergia.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Orientadora: Profa. Dra. Maria Cristina Solci  
Universidade Estadual de Londrina - UEL

---

Prof. Dr. Márcio Turra de Ávila  
Universidade Federal de São Carlos – UFSCar

---

Prof. Dr. Luiz Henrique Dall’Antonia  
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Londrina, 4 de novembro de 2021

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus que esteve ao meu lado durante esta caminhada, foi nele que procurei força e coragem para não desistir nos momentos de fraqueza.

Agradeço à minha mãe Rosimeire Ferreira Pimenta e aos meus avôs, que do céu olham por mim. Eles são meus anjos, que mesmo não estando de corpo presente, estão no meu coração, nos meus pensamentos e em minhas orações, protegendo-me com todo carinho e amor.

Agradeço à minha orientadora e mãe científica Maria Cristina Solci, por toda paciência, persistência, ensinamento e carinho que demonstrou e demonstra por mim desde a primeira conversa que tivemos sobre temas a serem avaliados, há momentos em que na ausência da minha família, ela se fez presente (lembro-me como se fosse hoje o abraço delicioso e a emoção em seus olhos quando soube que o Otto estava a caminho). Obrigada por nunca duvidar de mim, sempre apoiar-me e segurar minhas mãos nos momentos que mais precisei, obrigada por ser minha guia e por nunca desistir de mim.

Agradeço ao meu querido amigo Igor Soares Mantovani por toda amizade e suporte técnico durante o período deste trabalho, sem medir esforços.

Agradeço aos meus familiares por estarem sempre presentes, incentivando-me a nunca desistir. Em especial para ao Meu Marido Silas Medeiros e ao meu irmão Adam Pedro Ferreira Pimenta por todo apoio emocional, fazendo com que tudo ficasse mais fácil, ajudando-me a recuperar o fôlego. Jamais conseguirei, com palavras, agradecer o que fizeram e fazem por mim. Um agradecimento especial ao meu bebê Otto Pimenta Medeiros que tem feito meus dias mais felizes, ele é meu presente do mestrado. Vocês foram os que olharam nos meus olhos e sem que eu dissesse nada sabiam o que oferecer, nunca reclamaram de cansaço ou falta de tempo, apenas sabiam que eu precisava de vocês e me ajudaram sem hesitar.

Por fim agradeço ao Laboratório de Análises Cromatográficas e Ambientais (LACA) por tornar possível a realização das análises fontes para o desenvolvimento da minha Dissertação, à UEL (Universidade Estadual de Londrina) por ser minha segunda casa nesta jornada de aprendizado, agradeço também as agências de fomento CAPES e CNPq e por fim agradeço ao Museu Histórico de Londrina e a

CMTU de Londrina por cederem espaço para que eu realizasse minhas análises, frutos para a escrita deste trabalho. Obrigada!

PIMENTA, Andressa Ferreira. **Black carbon e material particulado fino atmosférico em ambientes interno e externo. Emissões provenientes da combustão de misturas de diesel/biodiesel (B10 e B11).** 2021. 111 f. Dissertação (Mestrado em Bioenergia) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2021.

## RESUMO

O presente estudo tem como objetivo quantificar os níveis de *black carbon* (BC), associados ao material particulado fino (MP<sub>1,0</sub> e MP<sub>2,5</sub>) e sua variabilidade durante a combustão de misturas biodiesel/diesel (B10 e B11) utilizadas na região central de Londrina-PR. As amostragens foram realizadas em 2019 no interior de uma estação de ônibus semifechada (Terminal de Ônibus Urbano Central de Londrina - TCUL) e em ambiente externo (Museu Histórico de Londrina - MHL), simultaneamente. Concluiu-se que os MP finos provenientes de combustão biodiesel/diesel B10 e B11 coletadas no TCUL, tanto para MP<sub>1,0</sub> quanto para MP<sub>2,5</sub>, diminuíram em relação à B3, B5, B6, B7 e B8, mas quando comparado a B12, os valores de concentração voltam a subir, aumentando cerca de 33% (de B10 para B12) e 49% (de B11 para B12), isto para MP<sub>1,0</sub>. Já para MP<sub>2,5</sub>, a diferença é de cerca de 21% (de B10 para B12) e 37% (de B11 para B12). Nas medidas realizadas no MHL, ocorreu o mesmo padrão apresentado tanto para MP<sub>1,0</sub> quanto para MP<sub>2,5</sub>, diferença entorno de 76% (MP<sub>1,0</sub>) e 64% (MP<sub>2,5</sub>) (de B10 para B12) e 81% (MP<sub>1,0</sub>) e 62% (MP<sub>2,5</sub>) (de B11 para B12). De forma geral, a concentração do MP fino diminuiu até B10 e B11 e volta a subir em B12, mas a razão MP<sub>1,0</sub>/MP<sub>2,5</sub> aumentou, mostrando o incremento de MP<sub>1,0</sub> na fração fina do MP. Quanto às análises de *black carbon*, pode-se concluir que foi determinado BC nas frações do material particulado fino tanto no TCUL quanto no MHL; de maneira geral, em comparação entre as amostragens, houve diminuição na razão BC<sub>1,0</sub>/MP<sub>1,0</sub> e BC<sub>2,5</sub>/MP<sub>2,5</sub>.

**Palavras-chave:** combustão; emissões veiculares; poluentes atmosféricos; biocombustíveis.

PIMENTA, Andressa Ferreira. **Black carbon and atmospheric fine particulate material indoors and outdoors. Emissions from combustion of diesel/biodiesel blends (B10 and B11)**. 2021. 111 p. Dissertação (Mestrado em Bioenergia) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2021.

## ABSTRACT

This study aims to quantify the levels of black carbon (BC) associated with fine particulate matter (PM<sub>1.0</sub> and PM<sub>2.5</sub>) and its variability during the combustion of biodiesel/diesel mixtures (B10 and B11) used in the central region from Londrina-PR. Samplings were carried out in 2019 inside a semi-closed bus station (Central Urban Bus Terminal in Londrina - TCUL) and in an outdoor environment (Historical Museum of Londrina - MHL), simultaneously. It is concluded that fine PM from biodiesel/diesel combustion B10 and B11 collected at TCUL, for both PM<sub>1.0</sub> and PM<sub>2.5</sub>, decreased compared to B3, B5, B6, B7 and B8, but when compared to B12, the concentration values rise again, increasing by around 33% (from B10 to B12) and 49% (from B11 to B12), this for PM<sub>1.0</sub>. As for PM<sub>2.5</sub>, the difference is around 21% (from B10 to B12) and 37% (from B11 to B12). In the measurements performed in the MHL, there was the same pattern presented for both PM<sub>1.0</sub> and PM<sub>2.5</sub>, difference around 76% (PM<sub>1.0</sub>) and 64% (PM<sub>2.5</sub>) (from B10 to B12) and 81% (PM<sub>1.0</sub>) and 62% (PM<sub>2.5</sub>) (from B11 to B12). In general, the concentration of fine PM decreases until B10 and B11 and rises again in B12, but the PM<sub>1.0</sub>/PM<sub>2.5</sub> ratio increased, showing the increase of PM<sub>1.0</sub> in the fine fraction of PM. As for the black carbon analyses, it can be concluded that BC was determined in the fractions of fine particulate matter in both TCUL and MHL; in general, when comparing the samples, there was a decrease in the BC<sub>1.0</sub>/PM<sub>1.0</sub> and BC<sub>2.5</sub>/PM<sub>2.5</sub> ratio.

**Key words:** combustion; vehicle emissions; atmospheric pollutants; biofuels.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Diagrama esquemático dos principais processos de conversão energética a partir de biomassa .....	33
<b>Figura 2</b> - Representação das áreas de depósito do material particulado no trato respiratório proveniente de processos de combustão em função do diâmetro da partícula ( $D_p$ ) .....	46
<b>Figura 3</b> - Ciclo da chuva ácida, origem, como ocorre e consequência .....	49
<b>Figura 4</b> - Interação da luz solar com partículas suspensas no ar (black carbon) .....	51
<b>Figura 5</b> - Localização dos pontos de coleta .....	60
<b>Figura 6</b> - Piso térreo do Terminal de Ônibus Urbano Central de Londrina....	61
<b>Figura 7</b> - Sistema de amostragem de material particulado fino (Ciclone URG e porta filtro de silicone) .....	62
<b>Figura 8</b> - Equipamentos coletores no local de amostragem (sala da equipe de manutenção da Companhia Municipal de Trânsito e Urbanização de Londrina - CMTU).....	63
<b>Figura 9</b> - Equipamentos coletores no local de amostragem, pátio do Museu Histórico de Londrina.....	64
<b>Figura 10</b> - Processo de tratamento dos filtros para realização das amostragens diárias .....	65
<b>Figura 11</b> - Balança ultra-analítica (Mettler Toledo, AX26, Suíça) com precisão de $1,0\mu\text{g}$ .....	66
<b>Figura 12</b> - Reflectômetro (EEL 43D Smoke Stain Diffusion Systems Ltd., Londres, Reino Unido) (DEFRA, 2019) .....	67

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1</b> - Matriz Energética .....	24
<b>Gráfico 2</b> - Participação das fontes renováveis na OIE (Oferta Interna de Energia).....	25
<b>Gráfico 3</b> - Matriz energética mundial (2018).....	25
<b>Gráfico 4</b> - Matriz energética brasileira .....	26
<b>Gráfico 5</b> - Consumo de energia no Brasil .....	28
<b>Gráfico 6</b> - Evolução da produção paranaense de energia.....	29
<b>Gráfico 7</b> - Consumo de energia por setor em 2009 no estado do Paraná.....	30
<b>Gráfico 8</b> - Consumo de energia no setor de transportes de 2000 a 2009 no Paraná.....	31
<b>Gráfico 9</b> - Matérias-primas utilizadas para fabricação de biodiesel em dezembro/2018 por m <sup>3</sup> no Brasil .....	38
<b>Gráfico 10</b> - Consumo de diesel e biodiesel no Brasil (Litros) .....	39
<b>Gráfico 11</b> - Variação de temperatura (máx., méd. e min.), umidade relativa do ar, e precipitação, referente ao período de amostragem (18/07/2019 a 02/08/2019) realizado no TCUL e MHL em Londrina-PR (1° campanha).....	69
<b>Gráfico 12</b> - Variação de temperatura (máx., méd. e min.), umidade relativa do ar, e precipitação, referente ao período de amostragem a) 20/08 a 31/08/2019 (B10) e b) 01/08 a 05/09/2019 (B11) realizado no TCUL e MHL em Londrina-PR (2° campanha) .....	70
<b>Gráfico 13</b> - Concentração diária de MP1,0 e MP2,5 em µg m <sup>-3</sup> no Terminal de Ônibus Urbano Central de Londrina, realizada de 18/07 a 02/08/2019 (combustível B10) (campanha 1) .....	73
<b>Gráfico 14</b> - Concentração diária de MP1,0 e MP2,5 em µg m <sup>-3</sup> no Terminal de Ônibus Urbano Central de Londrina, observada de 20/08 a 31/08/2019 (combustível B10) (campanha 2) .....	74
<b>Gráfico 15</b> - Concentração diária de MP1,0 e MP2,5 em µg m <sup>-3</sup> no Terminal de Ônibus Urbano Central de Londrina, observada de 01/09 a 05/09/2019 (combustível B11) (campanha 2) .....	75
<b>Gráfico 16</b> - Concentração diária de MP1,0 e MP2,5 em µg m <sup>-3</sup> no Museu Histórico de Londrina, observada de 18/07 a 02/08/2019	

(combustível B10) (campanha 1) .....	80
<b>Gráfico 17</b> - Concentração diária de MP1,0 e MP2,5 em $\mu\text{g m}^{-3}$ no Museu Histórico de Londrina, observada de 20/08 a 31/08/2019 (combustível B10) (campanha 2) .....	81
<b>Gráfico 18</b> - Concentração diária de MP1,0 e MP2,5 em $\mu\text{g m}^{-3}$ no Museu Histórico de Londrina, observada de 01/09 a 05/09/2019 (combustível B11) (campanha 2) .....	82
<b>Gráfico 19</b> - Concentração diária de black carbon (BC1,0 e BC2,5 em $\mu\text{g m}^{-3}$ ) e razão BC1,0/BC2,5 no Terminal de Ônibus Urbano Central de Londrina, observada de 18/07 a 02/08/2019 (combustível B10) (campanha 1).....	84
<b>Gráfico 20</b> - Concentração diária de black carbon (BC1,0 e BC2,5 em $\mu\text{g m}^{-3}$ ) e razão BC1,0/BC2,5 no Terminal de Ônibus Urbano Central de Londrina, observada de 20/08 a 31/08/2019 (combustível B10) (campanha 2).....	85
<b>Gráfico 21</b> - Concentração diária de black carbon (BC1,0 e BC2,5 em $\mu\text{g m}^{-3}$ ) e razão BC1,0/BC2,5 no Terminal de Ônibus Urbano Central de Londrina, observada de 01/09 a 05/09/2019 (combustível B11) (campanha 2).....	86
<b>Gráfico 22</b> - Variação da taxa de BC1,0/MP1,0 e BC2,5/MP2,5 para combustíveis B5, B6, B7 (duas campanhas), B8, B10 (duas campanhas) e B11, a partir de dados coletados no Terminal de Ônibus Urbano Central de Londrina.....	87
<b>Gráfico 23</b> - Concentração diária de black carbon (BC1,0 e BC2,5 em $\mu\text{g m}^{-3}$ ) e razão BC1,0/BC2,5 no Museu Histórico de Londrina, observada de 18/07 a 02/08/2019 (combustível B10) (campanha 1).....	90
<b>Gráfico 24</b> - Concentração diária de black carbon (BC1,0 e BC2,5 em $\mu\text{g m}^{-3}$ ) e razão BC1,0/BC2,5 no Museu Histórico de Londrina, observada de 20/08 a 31/08/2019 (combustível B10) (campanha 2).....	91
<b>Gráfico 25</b> - Concentração diária de black carbon (BC1,0 e BC2,5 em $\mu\text{g m}^{-3}$ ) e razão BC1,0/BC2,5 no Museu Histórico de Londrina, observada de 01/09 a 05/09/2019 (combustível B11) (campanha	

2).....	92
<b>Gráfico 26</b> - Variação da taxa de BC1,0/MP1,0 e BC2,5/MP2,5 para combustíveis B10 (duas campanhas), B11 e B12 (durante e posterior ao período de quarentena) observada no Museu Histórico de Londrina .....	94

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> -	Repartição de 'outras' fontes de energia renováveis .....	27
<b>Tabela 2</b> -	Caracterização de misturas biodiesel/diesel de B3 a B5, B6 a B30 e biodiesel puro (B100), comercializado no Brasil a partir de 2008 .....	40
<b>Tabela 3</b> -	Gases que formam a atmosfera .....	42
<b>Tabela 4</b> -	Padrões de qualidade do ar, de acordo com poluente, período de exposição e classificação (PI-1, PI-2, PI-3 e PF) .....	50
<b>Tabela 5</b> -	Frota de veículos automotores de Londrina-PR de acordo com categoria e quantidade .....	59
<b>Tabela 6</b> -	Intervalo de concentração ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ), média $\pm$ desvio padrão (%) ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) de MP1,0 e MP2,5 e razão MP1,0/MP2,5 das amostras coletadas no interior do TCUL utilizando misturas biodiesel/diesel (B10 e B11).....	72
<b>Tabela 7</b> -	Faixa de concentração MP1,0 e MP2,5 e relação MP1,0/MP2,5 no interior do TCUL, com o uso das misturas B3, B5, B6, B7, B8, B10, B11 e B12 biodiesel/diesel.....	76
<b>Tabela 8</b> -	Intervalo de concentração ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ), média $\pm$ desvio padrão (%) ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) de MP1,0 e MP2,5 e razão MP1,0/MP2,5 das amostras coletadas no pátio do MHL utilizando misturas biodiesel/diesel (B10 e B11) .....	78
<b>Tabela 9</b> -	Intervalo de concentração ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ), média $\pm$ desvio padrão (%) ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) de BC1,0 e BC2,5 e razão BC1,0/BC2,5 das amostras coletadas no Terminal de Ônibus Urbano Central de Londrina utilizando misturas biodiesel/diesel (B10 e B11) .....	83
<b>Tabela 10</b> -	Concentrações médias de BC1,0, MP1,0, BC2,5, MP2,5, dentro do Terminal de Ônibus Urbano Central de Londrina com combustão de misturas biodiesel/diesel B5, B6, B7, B8, B10 e B11 .....	87
<b>Tabela 11</b> -	Intervalo de concentração ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ), média $\pm$ desvio padrão (%) ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) de BC1,0 e BC2,5 e razão BC1,0/BC2,5 das amostras coletadas no MHL utilizando misturas biodiesel/diesel (B10 e B11).....	89

<b>Tabela 12</b> - Concentrações médias de BC1,0, MP1,0, BC2,5, MP2,5, dentro do Museu Histórico de Londrina com combustão de biodiesel B10 (duas campanhas), B11 e B12 .....	93
---	----

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> - Principais substâncias poluentes na atmosfera .....	43
<b>Quadro 2</b> - Fontes emissoras e granulometria de material particulado inalável.....	47
<b>Quadro 3</b> - Algumas das principais fontes poluidoras e seus respectivos poluentes.....	48
<b>Quadro 4</b> - Efeitos do material particulado na população, alguns tratamentos e as maiores formas de exposição.....	54

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
B/D	Biodiesel/diesel
B0	Diesel puro
B10	Mistura biodiesel/diesel contendo 10% de biodiesel e 90% de diesel
B100	Biodiesel puro
B11	Mistura biodiesel/diesel contendo 11% de biodiesel e 89% de diesel
B12	Mistura biodiesel/diesel contendo 12% de biodiesel e 88% de diesel
B15	Mistura biodiesel/diesel contendo 15% de biodiesel e 85% de diesel
B2	Mistura biodiesel/diesel contendo 2% de biodiesel e 98% de diesel
B20	Mistura biodiesel/diesel contendo 20% de biodiesel e 80% de diesel
B3	Mistura biodiesel/diesel contendo 3% de biodiesel e 97% de diesel
B30	Mistura biodiesel/diesel contendo 30% de biodiesel e 70% de diesel
B5	Mistura biodiesel/diesel contendo 5% de biodiesel e 95% de diesel
B50	Mistura biodiesel/diesel contendo 50% de biodiesel e 50% de diesel
B6	Mistura biodiesel/diesel contendo 6% de biodiesel e 94% de diesel
B7	Mistura biodiesel/diesel contendo 7% de biodiesel e 93% de diesel
B75	Mistura biodiesel/diesel contendo 75% de biodiesel e 25% de diesel
B8	Mistura biodiesel/diesel contendo 8% de biodiesel e 92% de diesel
BC	Black Carbon
CMTU	Companhia Municipal de Trânsito e Urbanização (Londrina)
CN	Carbono Negro
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética
CNT	Confederação Nacional do Transporte
CO	Monóxido de Carbono
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
Dp	Diâmetro aerodinâmico
DPOC	Doenças Progressivas Obstrutivas Crônicas
DV	Desvio Padrão
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
H2SO4	Ácido Sulfúrico
HPA	Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos

IAPAR	Instituto Agrônômico do Paraná
IARC	International Agency for Research on Cancer (Agência Internacional de Pesquisa Sobre o Câncer, França)
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INCA	Instituto Nacional de Câncer
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LACA	Laboratório de Análises Cromatográficas e Ambientais
MHL	Museu Histórico de Londrina
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MME	Ministério de Minas e Energia
MP	Material Particulado
MP1,0	Material particulado com diâmetro aerodinâmico inferior a 1 µm
MP10	Material particulado com diâmetro aerodinâmico inferior a 10 µm
MP2,5	Material particulado com diâmetro aerodinâmico inferior a 2,5 µm
NH3	Amônia
NMET	Instituto Nacional de Meteorologia
NO	Monóxido de Nitrogênio
NO2	Dióxido de Nitrogênio
NOx	Óxidos de Nitrogênio
O3	Ozônio
OMS	Organização Mundial da Saúde
PNA	Plano Nacional de Energia
PTS	Partículas Totais em Suspensão
SO2	Dióxido de Enxofre
SOX	Óxidos de Enxofre
TCUL	Terminal de Ônibus Urbano Central de Londrina
tEP	mil toneladas Equivalentes de Petróleo
UBRABIO	União Brasileira do Biodiesel e Bioquerosene
UEL	Universidade Estadual de Londrina
USEPA	United States Environmental Protection Agency (Agência de Proteção Ambiental, EUA)
WHO	World Health Organization
[(NO)] <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Nitrato

$[\text{SO}]_{-4^{(2-)}} \text{ Sulfato}$

$\bar{x}$  Média

$\sigma_n$  Desvio Padrão

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	19
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	22
2.1	BIOENERGIA .....	22
2.1.1	Bioenergia no Mundo, Brasil e Paraná .....	22
2.2	BIOMASSA .....	32
2.3	CULTURAS BIOENERGÉTICAS .....	34
2.4	DIESEL .....	36
2.5	BIODIESEL .....	37
2.6	GASES E MATERIAL PARTICULADO.....	41
2.6.1	Gases .....	41
2.6.2	Material Particulado .....	44
2.7	<i>BLACK CARBON</i> .....	51
2.8	DANOS CAUSADOS POR MATERIAL PARTICULADO .....	52
<b>3</b>	<b>JUSTIFICATIVA</b> .....	56
<b>4</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	57
4.1	OBJETIVO GERAL .....	57
4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	57
<b>5</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	58
5.1	ÁREA DE ESTUDO.....	58
5.2	LOCAIS DE AMOSTRAGEM .....	59
5.3	AMOSTRAGEM DO MATERIAL PARTICULADO FINO (MP1,0 E MP2,5) .....	61
5.4	DETERMINAÇÃO DE <i>BLACK CARBON</i> .....	66
5.5	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	68
<b>6</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	69
6.1	DADOS METEOROLÓGICOS .....	69
6.2	ANÁLISE GRAVIMÉTRICA DE MP1,0 E MP2,5 .....	70
6.3	DETERMINAÇÃO DE <i>BLACK CARBON</i> .....	82

7	CONCLUSÃO.....	95
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	98

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é líder mundial no contexto de bioeconomia e agroenergia (UBRABIO, 2012; EMBRAPA, 2020), apresentando uma matriz energética formada em 45% de fontes renováveis, com capacidade de expansão de acordo com o Plano Nacional de Energia (PNA). A projeção para o país em 2030 é de redução na utilização de petróleo (28%), com expressivo aumento do aproveitamento de recursos renováveis (45% em 2008 para 46,6% em 2030), diminuindo, portanto, a utilização de 55% (2008) de fontes não renováveis para 53,4% (2030) (EPE, 2008; MME, 2008; EMPRAPA, 2020).

O diesel é um combustível que constitui parte de fontes não renováveis (derivado do petróleo) e o biodiesel, parte das fontes renováveis (derivado de plantas – óleos vegetais, ou de animais – gordura animal), (BIODIESELBR, 2011; PETROBRAS, 2014; ANP, 2020).

A fabricação de biodiesel a partir de fontes orgânicas é estudada por diversos autores (GERIS, et al., 2007; SILVA; MACIEL, 2010; LOPES; BAÔ, 2020). O biodiesel é conhecido e cada vez mais aplicado na produção de energia renovável (VIDAL 2019; SEBRAE, 2020). Neste momento, o biodiesel só pode ser usado em motores a diesel, o que o torna um futuro substituto do diesel (VIDAL, 2019; SEBRAE, 2020).

As emissões veiculares contribuem expressivamente para a poluição do ar em áreas urbanas; veículos pesados que utilizam diesel/biodiesel são causadores de emissões de partículas finas (MP<sub>1,0</sub> e MP<sub>2,5</sub>) e de óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), entre outros poluentes (MARTINS et al., 2011, SILVA JÚNIOR et al., 2019). A fim de minimizar o lançamento de poluentes na atmosfera decorrentes de emissões veiculares, a utilização de misturas combustíveis passaram a ser utilizadas (MARTINS et al., 2011; PINTO et al., 2014; PIRACELLI, 2015; SILVA JÚNIOR et al., 2019; INEA, 2021; MMA, 2021).

Em janeiro de 2008, o Brasil passou a usar 2% de biodiesel em todo diesel vendido em território nacional (B2). Ao passar dos anos, esse percentual foi subindo e atualmente (2021) o diesel vendido nos postos de combustível no Brasil possui 12% de biodiesel e 88% de diesel (B12), conforme estabelecido pelo Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) em conformidade com a resolução nº16/2018 (UBRABIO, 2019; ANP, 2020; CNT, 2020).

A resolução nº16/2018 marca a última etapa da Lei nº 13.263/2016, a qual

estabelece prazos para efetivação das misturas obrigatórias de 8% até 10%, e deixa aos cuidados do CNPE a determinação de um cronograma até o B15 (15% de biodiesel e 85% de diesel) (UBRABIO, 2019; ANP, 2020; CNT, 2020).

Grandes cidades com alta densidade populacional tendem a emitir altas taxas de poluentes atmosféricos devido ao grande fluxo veicular e elevadas taxas de emissões industriais, o que corrobora a degradação da qualidade do ar (PINTO et al., 2014; MMA, 2021).

A atmosfera pode ser considerada o local onde, permanentemente, ocorrem reações químicas (INEA, 2021). Estas espécies tanto sólidas, quanto gasosas e líquidas (provenientes de fontes naturais ou antropogênicas), são parcialmente absorvidas pela atmosfera, reagindo entre si, ou com outros componentes já existentes no meio, ou podem se dispersar. Estas reações geram substâncias que atingem seres humanos, animais, plantas ou materiais (PINTO et al., 2014; INEA, 2021; MMA, 2021).

A interação entre fontes poluidoras (emissões) e a atmosfera irá determinar a qualidade do ar, em suma, a poluição do ar está unida à alteração da composição natural da atmosfera. Conseqüentemente, foram estabelecidos níveis de referência para identificação da variação da qualidade do ar a fim de identificar anormalidades que possam acarretar danos à saúde (PINTO et al., 2014; INEA, 2021; MMA, 2021).

O grupo de poluentes que são utilizados como referência para indicar a qualidade do ar, são: material particulado  $MP_{10}$  e  $MP_{2,5}$ , dióxido de enxofre ( $SO_2$ ), dióxido de nitrogênio ( $NO_2$ ), ozônio ( $O_3$ ), fumaça, monóxido de carbono (CO), partículas totais em suspensão (PTS), e chumbo  $Pb_5$  (PINTO et al., 2014; INEA, 2021; MMA, 2021). Baseada nestes parâmetros, fundamentou-se a Resolução Conama nº491 de 19 de novembro de 2018.

“Poluente atmosférico: qualquer forma de matéria em quantidade, concentração, tempo ou outras características, que tornem ou possam tornar o ar impróprio ou nocivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade ou às atividades normais da comunidade” art.2º. p.I. da Resolução Conama nº491/2018 (BRASIL, 2018).

Diversos autores apontam o *Black Carbon* (BC) como um indicador adicional importante na qualidade do ar, o que corrobora estudos de riscos à saúde da população, provenientes das emissões de combustão (FENG et al., 2014; PIRACELLI, 2015; TARGINO; KRECL, 2015; SILVA JÚNIOR et al., 2019).

A poluição via *Black Carbon* tornou-se um assunto essencial a ser discutido, sendo que diversos autores (PIRACELLI, 2015; TARGINO; KRECL, 2015; BRITO, 2018; LANDI, 2018; SILVA JÚNIOR et al., 2019; SANTOS et al., 2020) identificaram efeitos na qualidade do ar urbano associados ao BC.

O BC está associado principalmente ao material particulado fino que é um dos poluentes atmosféricos mais nocivos à saúde humana. O MP pode permanecer no ar por um longo período, devido ao seu pequeno tamanho e pode penetrar profundamente no sistema respiratório humano causando diversas doenças (FENG et al., 2014; SILVA JÚNIOR et al., 2019).

Estudos obtidos em medições em terminais de ônibus reproduzem grande parte das emissões de veículos em condições operacionais (MARTINS et al., 2011; PINTO et al., 2014; PIRACELLI, 2015; SILVA JÚNIOR et al., 2019). Com isso, estudos vêm sendo realizados no interior do terminal de ônibus urbano central de Londrina desde 2008, demonstrando a presença de diversos componentes poluentes.

A fim de manter o monitoramento da emissão pela combustão de misturas biodiesel/diesel de veículos de grande porte no interior do terminal de ônibus urbano central de Londrina e em seu entorno, o presente estudo visa, pela primeira vez, quantificar BC, MP<sub>1,0</sub> e MP<sub>2,5</sub> (partículas com diâmetro  $\leq 1,0$  e  $2,5 \mu\text{m}$ , respectivamente) provenientes de B10 (2019) e B11 (2019/2020) e avaliar sua variabilidade em condições reais em ambiente semifechado (terminal de ônibus urbano central de Londrina - TCUL) e ambiente aberto (museu histórico de Londrina - MHL) em proximidade com o terminal, com intuito de analisar se a circulação destes veículos influenciam diretamente a poluição atmosférica em ambiente aberto.

Os resultados podem colaborar como valores para referência em estudos futuros sobre inventários de emissões de poluentes atmosféricos e especialmente em estratégias de controle de emissões veiculares, considerando a necessidade de estudos para que se possa avaliar se a ampliação da mistura do biodiesel no diesel está sendo ambientalmente benéfica.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A seguir, será contextualizada uma breve revisão sobre os temas abordados neste trabalho como definição de bioenergia (mundo, Brasil e Paraná), biomassa, culturas energéticas, diesel, biodiesel, gases, material particulado, *black carbon* e danos provenientes de material particulado.

### 2.1 BIOENERGIA

#### 2.1.1 Bioenergia no Mundo, Brasil e Paraná

Bioenergia é a energia proveniente de biomassa (matéria orgânica de origem vegetal e animal). Ela pode ser comumente empregada na produção de calor, eletricidade e combustíveis, sendo encarada como uma alternativa de substituição aos combustíveis fósseis (matéria-prima não renovável), que dominam a matriz energética mundial (VIAN; MORAES, 2008; WRM, 2013; ECYCLE, 2021a; RENOVABIO, 2021).

Uma das formas usuais de gerar bioenergia é a partir de biomassa em forma sólida (madeira, carvão). Mas com o desenvolvimento de tecnologias, é possível obter energia também a partir de fontes como: cavacos (chips) e granulados (pellets) de madeira e da biomassa em forma líquida como o etanol (a partir de cultivos como cana-de-açúcar, milho, trigo, aveia, arroz, dentre outras biomassas – por fermentação de biomassa hidrolisada) e o biodiesel (de oleaginosas como dendê, pinhão-manso, girassol, soja, dentre outras biomassas – por prensagem a frio/extração e transesterificação), e em forma gasosa como o biogás (gás inflamável produzido a partir da mistura de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>, por meio da ação de bactérias fermentadoras de matérias orgânicas – a fermentação depende principalmente da temperatura, umidade e acidez) (VIAN; MORAES, 2008; WRM, 2013; ECYCLE, 2021a; RENOVABIO, 2021).

Desde a Revolução Industrial, os combustíveis fósseis – petróleo, carvão mineral e gás natural se tornaram a principal fonte de energia no Norte Global e depois, da economia Globalizada (PIVA, 2010; WRM, 2013, EPE, 2021a).

Com o fácil acesso ao petróleo e portanto, ao uso em grande escala de energia fóssil (principal causa do aquecimento global – mudança climática), aumentaram-se, na biosfera, volumes de CO<sub>2</sub> e outros gases do efeito estufa (PIVA, 2010; WRM, 2013, EPE, 2021a).

Governos e empresas das maiores economias do mundo se associaram com intuito de enfrentar a mudança climática, promovendo energias alternativas a fim de reduzir emissões de poluentes atmosféricos (com foco na redução de CO<sub>2</sub>), com segurança e em condições competitivas e ambientalmente sustentáveis (PIVA, 2010; TOLMASQUIM, 2012; WRM, 2013; EPE, 2021a).

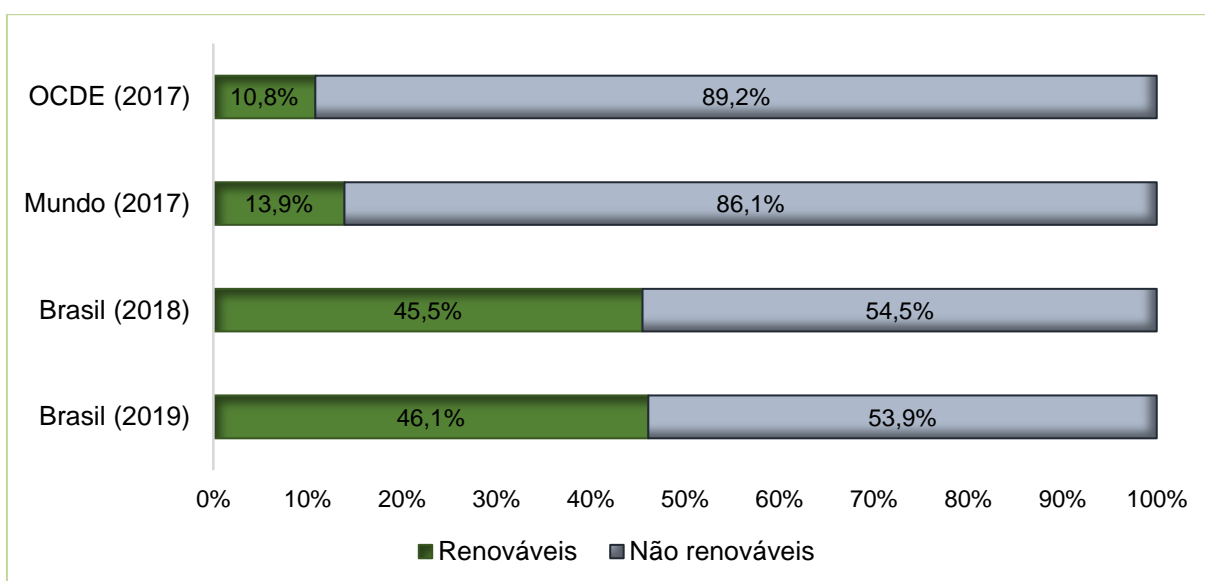
A bioenergia é um dos fundamentos da proposta de uma “economia verde” ou “bioeconomia”, retratada como a promessa de um mundo sustentável e ambientalmente correto (menor degradação da natureza) (PIVA, 2010; TOLMASQUIM, 2012; WRM, 2013; EPE, 2021a).

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), as perspectivas de crescimento da população mundial até 2050 - aumento de seis bilhões de pessoas em 2000 para cerca de nove bilhões no final do horizonte – juntamente com a expectativa de crescimento de renda ao longo do tempo tem grandes consequências nos cenários futuros de mobilidade (EPE, 2016).

Nessa estimativa (nove bilhões de pessoas em 2050), será necessário um aumento de 50% na geração de energia para que seja possível atender a demanda crescente, em comparação ao consumo de 2000, o que exigirá maior diversificação de recursos energéticos e inovações tecnológicas eficientes e confiáveis para o meio ambiente, tornando a matriz energética mundial mais sustentável (EPE, 2016).

De acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN – 2019) – Relatório Síntese/Ano Base 2019, elaborado pela EPE, houve um incremento da geração hidráulica e eólica; aumento da biomassa da cana e biodiesel e redução de carvão mineral (queda de 9,0% na produção de aço).

O Gráfico 1 traz a participação de energias renováveis na matriz energética do Brasil, Mundo e Organização para a Cooperação de Desenvolvimento Econômico (OCDE).

**Gráfico 1 – Matriz Energética.**

Nota: OCDE - Organização para a Cooperação de Desenvolvimento Econômico.

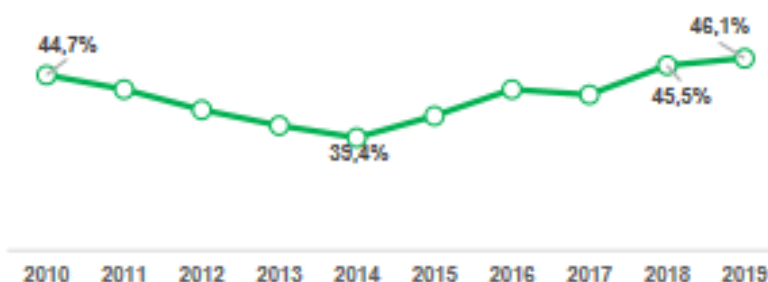
Fonte: Adaptado do BEN (2020).

Tal gráfico revela que o Brasil, em 2019, possuía 46,1% da matriz energética renovável quando comparado com a média dos outros países do mundo (13,9%) e OCDE (10,8%), mostrando que o país utiliza notoriamente mais fontes renováveis que o restante do mundo.

A bioenergia tem adquirido grande importância nos últimos anos. A necessidade de busca por alternativas representadas por energias renováveis com menor geração de poluentes, que traga possibilidades eficientes na utilização de recursos não esgotáveis, ocasiona o uso de matérias-primas provenientes de diversas fontes renováveis (CAMIOTO; REBELATTO; ROCHA, 2016; EPE, 2016; SILVA, 2016).

O Gráfico 2 esclarece a distribuição, no decorrer dos anos, da participação de energias renováveis na Oferta Interna de Energia (OIE) no Brasil. A participação de fontes renováveis na oferta de energia interna do país mostra variações, mas mesmo com oscilações, apresenta valores significativos na participação total de renováveis quando comparada aos demais países, com aumento de 6,1% entre o ano de 2014 para 2018 e 0,6% de 2018 para 2019 (BEN, 2020).

**Gráfico 2** – Participação das fontes renováveis na OIE (Oferta Interna de Energia).

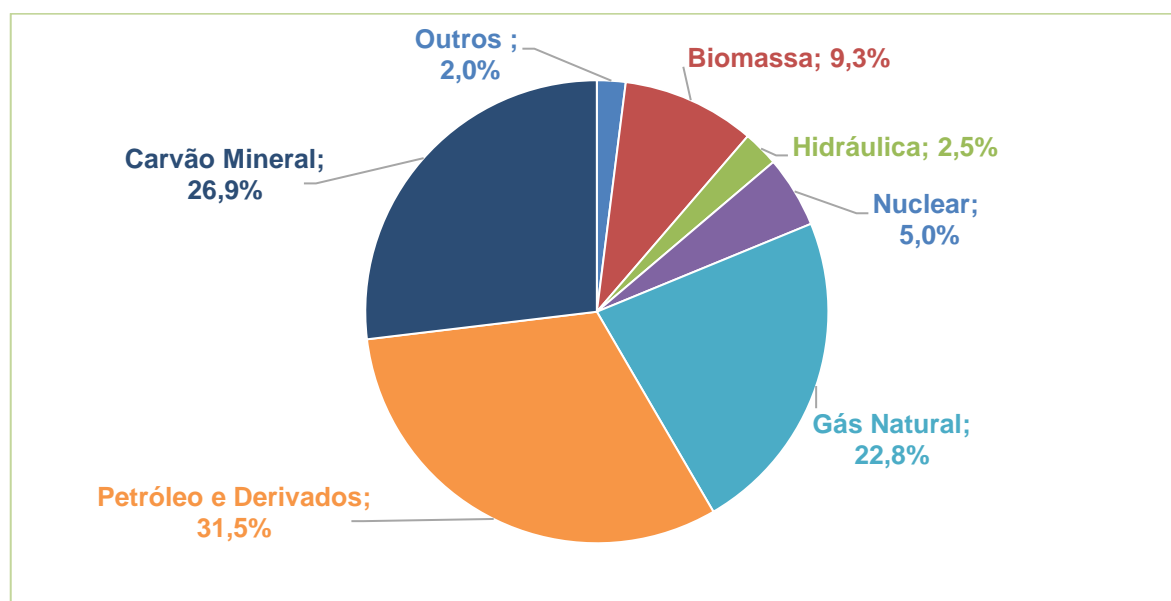


**Fonte:** Elaborado por EPE; Agência Internacional de Energia, disponibilizado por: BEN (2019).

Diversos recursos naturais podem ser utilizados como fontes para a bioenergia – fontes estas que são rapidamente repostas pela natureza - sendo, portanto, consideradas complementares na política de diversificação e combinação energética (GOLDEMBERG; MOREIRA, 2005; SILVA, 2016; CAMIOTO; REBELATTO; ROCHA, 2016).

No Gráfico 3, pode-se observar a matriz energética mundial, composta principalmente por fontes não renováveis, como o gás natural (22,8%), carvão mineral (26,9%), petróleo e derivados (31,5%).

**Gráfico 3** – Matriz energética mundial (2018).

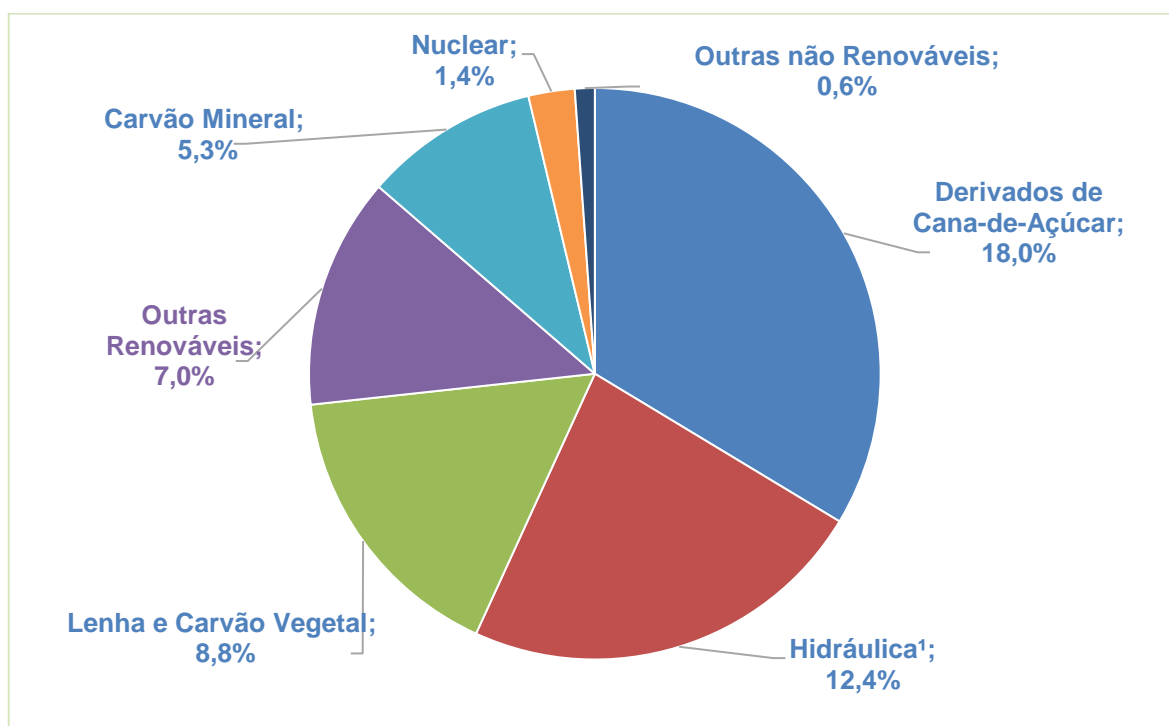


**Fonte:** Adaptado da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2021b).

Fontes renováveis como solar, eólica, geotérmica, dentre outras, representam somente 2% da matriz energética mundial, descrita como “outros”. Somando as demais energias – hidráulica (2,5%) e biomassa (9,3%) –, as energias renováveis totalizam cerca de 14% (Gráfico 3).

No Gráfico 4, pode-se notar a matriz energética brasileira, composta principalmente por fontes renováveis, tendo como não renováveis cerca de 54%.

**Gráfico 4 – Matriz energética brasileira.**



Nota¹: Inclui importação de eletricidade oriunda de fonte hidráulica.

Fonte: Balanço Energético Nacional (BEN), (2020).

A matriz energética do Brasil é bastante variada e com considerável participação nas energias renováveis, dentre elas, a biomassa da cana (18%), hidráulica (12,4%), lenha e carvão vegetal (8,8%) e outras renováveis (7%), somando cerca de 46% de fontes renováveis, quase metade da matriz energética total.

Na Tabela 1, observa-se a repartição de ‘outras energias renováveis’ que somam aproximadamente 7% do total de 46% das fontes renováveis.

**Tabela 1** – Repartição de ‘outras’ fontes de energia renováveis.

<b>Outras renováveis</b> <b>(mil tep<sup>1</sup>)</b>	<b>Δ 18 / 17</b> <b>(BEN, 2019)</b>	<b>2018</b> <b>(BEN, 2020)</b>	<b>2019</b> <b>(BEN, 2020)</b>	<b>Δ 19 / 18</b> <b>(BEN, 2020)</b>
<b>Lixívia</b>	<b>7,4%</b>	9.553	8.948	<b>-6,3%</b>
<b>Biodiesel</b>	<b>26,0%</b>	4.391	4.878	<b>11,1%</b>
<b>Eólica</b>	<b>14,4%</b>	4.169	4.815	<b>15,5%</b>
<b>Outras biomassas<sup>2</sup></b>	<b>5,5%</b>	1.134	1.149	<b>1,4%</b>
<b>Solar</b>	<b>316,2%</b>	298	572	<b>92,2%</b>
<b>Biogás</b>	<b>6,7%</b>	204	269	<b>31,8%</b>
<b>Gás industrial de CV<sup>3</sup></b>	<b>18,7%</b>	88	81	<b>-8,0%</b>
<b>Total</b>	<b>13,6%</b>	<b>19.837</b>	<b>20.712</b>	<b>4,4%</b>

Nota<sup>1</sup>: tep (tonelada equivalente de petróleo).

Nota<sup>2</sup>: Inclui casca de arroz, capim-elefante e óleos vegetais.

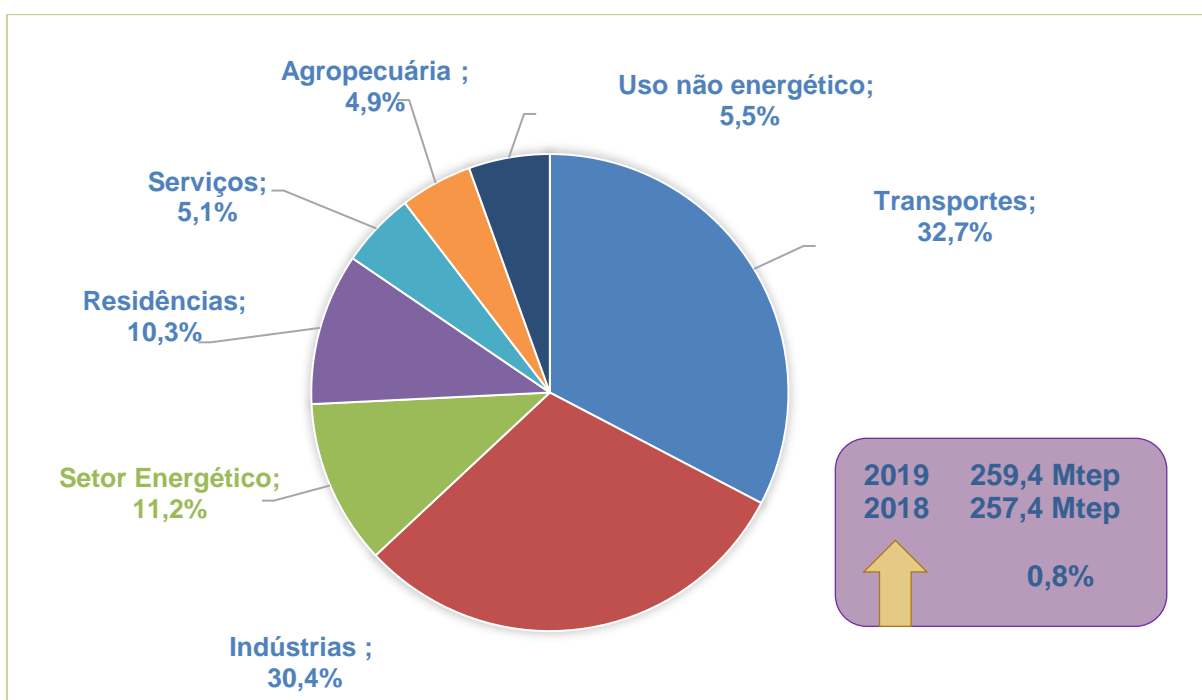
Nota<sup>3</sup>: CV (Carvão Vegetal).

**Fonte:** Adaptado de BEN (Balanço Energético Nacional), (2019 e 2020).

Como destaque tanto no BEN de 2019 quanto no de 2020, houve um aumento do consumo final de biodiesel (26% em 2017/2018 e 11,1% em 2018/2019), quando analisadas ‘outras fontes renováveis’, conforme Tabela 1. Vale ressaltar que um dos motivos do aumento do consumo de biodiesel no Brasil, diz respeito à política de adição obrigatória de biodiesel no diesel.

No que se refere à produção de biodiesel, o Brasil é o segundo maior fabricante do mundo, ficando atrás apenas dos Estados Unidos. Para produção do biocombustível, o Brasil tem como matéria-prima mais usada o óleo de soja (BEN, 2020).

Quanto ao uso de energia no Brasil, pelo 2º ano seguido, o setor de transportes superou a indústria em consumo de energia (Gráfico 5), quando somada a produção industrial e o transporte de carga/pessoas, correspondendo a aproximadamente 63% do consumo de energia do país (BEN, 2020).

**Gráfico 5 – Consumo de energia no Brasil.**

**Fonte:** Adaptado de Balanço Energético Nacional (BEN), (2020).

No que diz respeito ao consumo de energias nos transportes, houve aumento de 3,3% no consumo geral de 2018 (82,2 Mtep) para 2019 (84,9 Mtep) – a variação percentual está expressa em base energética, e não volumétrica. Quanto aos aumentos individuais, houve aumento no etanol (+11,3%), óleo diesel (+1,9%) e biodiesel (+9,4%) – o crescente consumo de biodiesel se deve à política de adição desse combustível no diesel fóssil, que atingiu 11% em volume em 2019 – e diminuição do uso de gasolina (-0,5%) (BEN, 2020).

De acordo com o Balanço Energético do Paraná 1980/2009, elaborado pela Companhia Paranaense de Energia (2010), além da grande participação da energia hidráulica na relação de produção de energia, a biomassa de cana-de-açúcar vêm se destacando: na safra de 2009/2010, o estado foi o segundo maior a produzir cana, destinando cerca de 45% do total para fabricação de açúcar e 55% para a produção de etanol (COPEL, 2010).

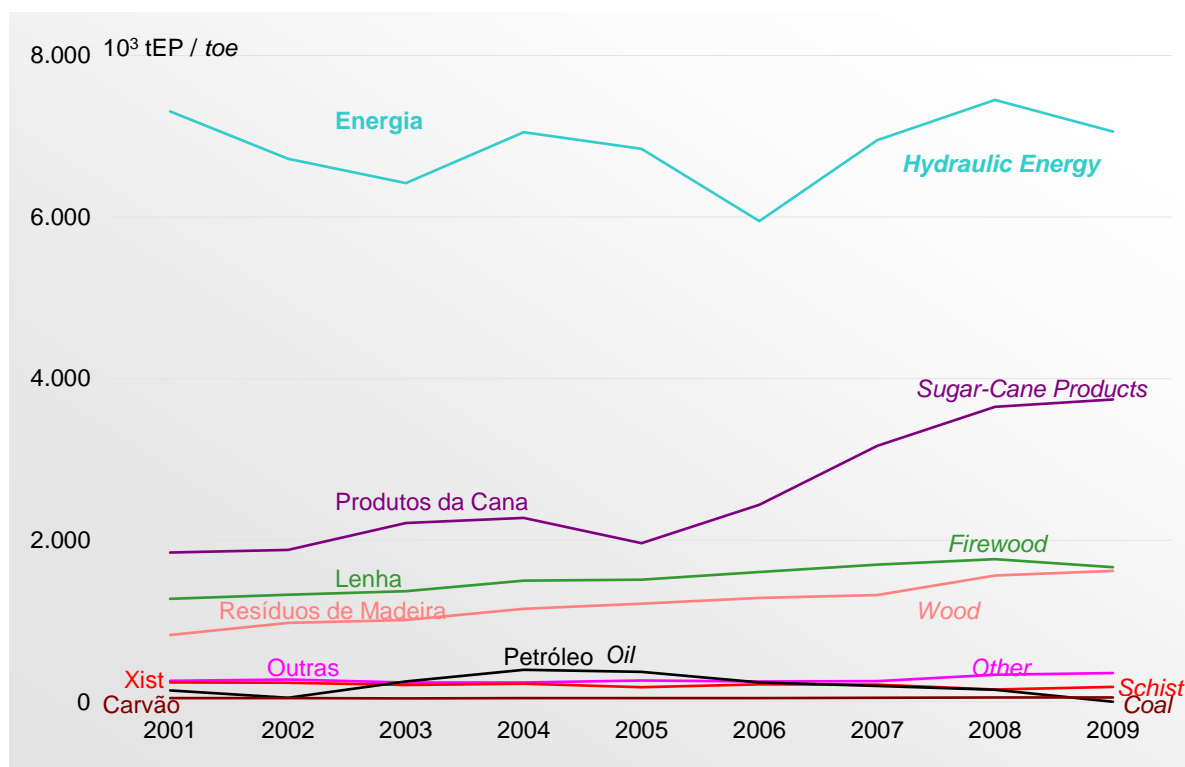
Vale ressaltar que os dados apresentados referente ao Balanço Energético do Paraná 1980/2009, não foram retificados até o momento, o que corrobora a falta de dados atualizados no que se refere ao estado do Paraná.

Em 2009, a produção de energia no estado do Paraná, chegou a cerca de 14.674 mil tep; deste valor, a produção por renováveis (energia hidráulica, biomassa

de cana, lenha, resíduos de madeira, dentre outras fontes) foi cerca de 98,4%, e 1,6% de fabricação por fontes não renováveis (xisto, petróleo e carvão mineral) (COPEL, 2010).

O Gráfico 6 representa a evolução da produção paranaense de energia de 2001 para 2009.

**Gráfico 6** – Evolução da produção paranaense de energia.

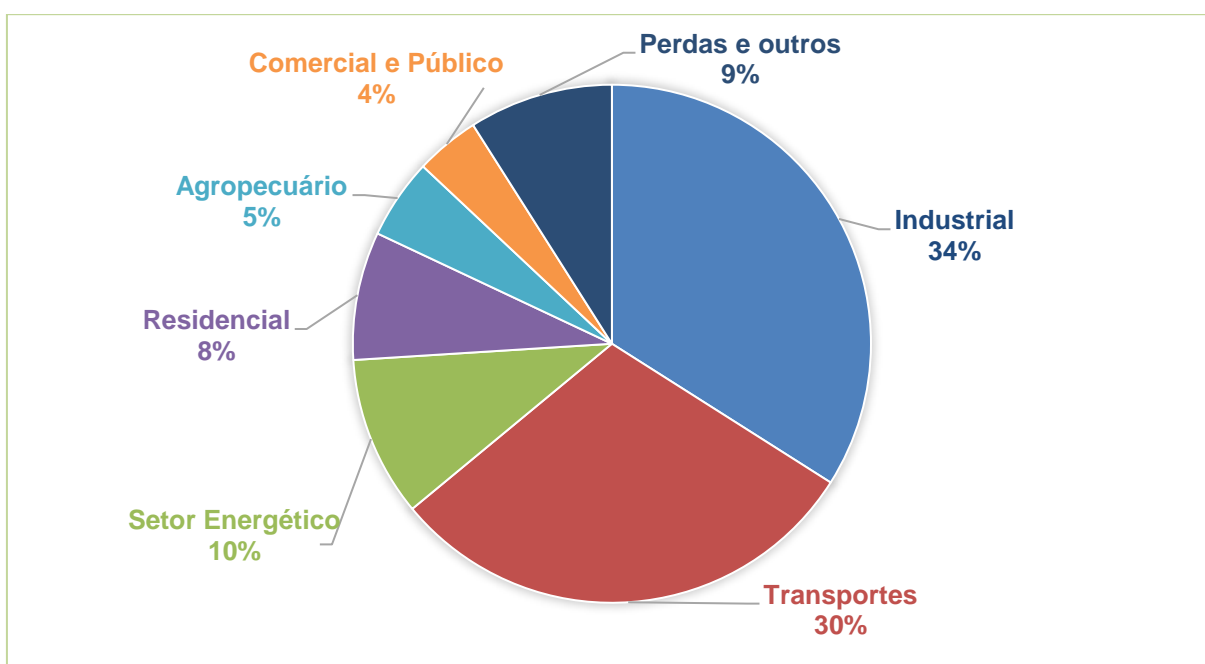


Fonte: Balanço Energético do Paraná: 1980/2009 (COPEL, 2010).

De acordo com o Balanço Energético do Paraná (1980/2009), o consumo de energia em 2009 foi de 17.676 mil tep – em 1980 o consumo foi de 6.259 mil tep –; deste valor, cerca de 47,5% é referente às fontes não renováveis (petróleo, gás natural, carvão mineral e xisto) e cerca de 52,5% pertence à fontes de energia renováveis (hidráulica, lenha, resíduos de madeira, cana-de-açúcar e outras fontes primárias) (COPEL, 2010).

O principal insumo energético consumido em 2009 no Paraná foi o petróleo (42,8% - não renovável), seguido por insumos renováveis: cana-de-açúcar (20,3%), lenha/resíduos de madeira (18,2%) e energia hidráulica (12%).

**Gráfico 7** – Consumo de energia por setor em 2009 no estado do Paraná.

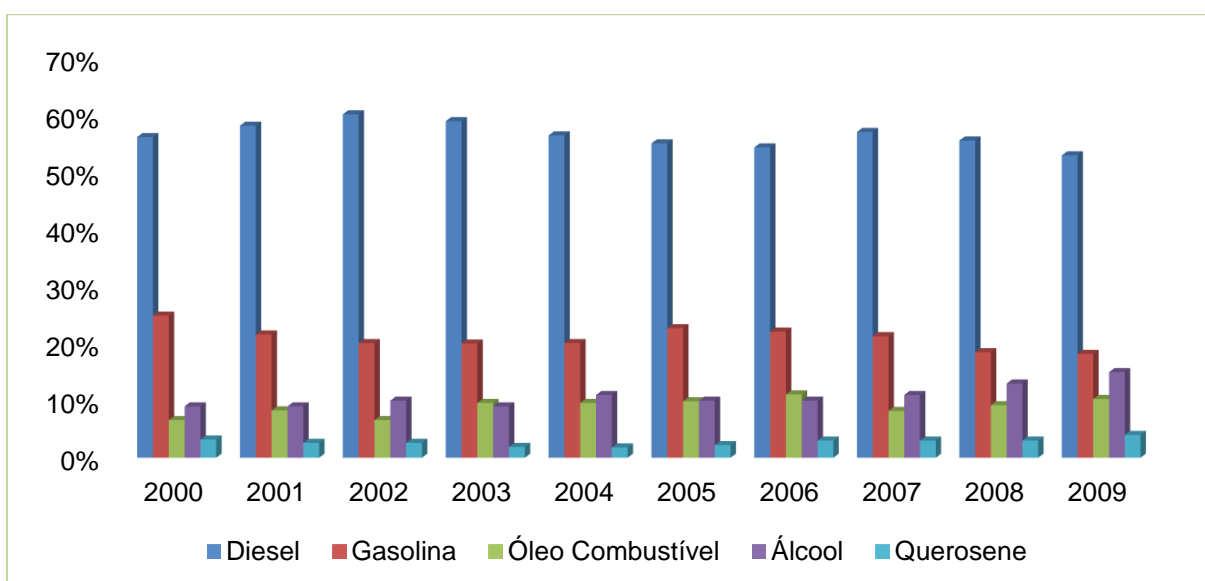


**Fonte:** Adaptado do Balanço Energético do Paraná: 1980/2009 (COPEL, 2010).

Em 2009, o setor de maior consumo de energia do estado do Paraná foi o industrial (34%), seguido pelo setor de transportes (30%), conforme evidenciado no Gráfico 7.

No setor de transportes, em 2009, o segmento rodoviário representou 84,8% do total de consumo de energia, seguido pelo ferroviário (1,8%), aéreo (2,6%) e aquaviário (10,8%) (COPEL, 2010).

No Gráfico 8, observa-se o consumo de energia no setor de transportes de 2000 a 2009, de acordo com o Balanço Energético do Paraná (1980/2009).

**Gráfico 8** – Consumo de energia no setor de transportes de 2000 a 2009 no Paraná.

**Fonte:** Adaptado do Balanço Energético do Paraná: 1980/2009 (COPEL, 2010).

De acordo com o Gráfico 8, a participação do diesel nos insumos energéticos do setor de transporte em 2009 representou 53% do total, seguido pela gasolina (18%) e álcool (15%).

Uma dúvida comum é a diferença entre matriz energética e matriz elétrica. Segundo a Empresa de Pesquisa e Energia, enquanto a matriz energética representa o conjunto de fontes de energia disponíveis para movimentar os veículos automotivos, aquecer caldeiras, uso doméstico e gerar eletricidade, a matriz elétrica é formada pelo conjunto de fontes disponíveis apenas para a geração de energia elétrica. Dessa forma, pode-se concluir que a matriz elétrica faz parte da matriz energética (EPE, 2021b).

Os recursos naturais são essenciais para a sobrevivência dos seres vivos na terra, e é por meio da natureza que os animais e seres humanos encontram seus meios de subsistência. Historicamente, a matriz energética mundial se baseia no uso de fontes não renováveis, principalmente de combustíveis fósseis, o que reflete em inúmeros problemas associados ao meio ambiente, como a emissão excessiva de poluentes atmosféricos (BARROS, 2010; EPE, 2021b).

Com a necessidade de fontes ilimitadas para geração de energia, recursos naturais foram utilizados para a geração de bioenergia; com o tempo, adquiriu-se aprimoramento tecnológico, o que corroborou a ampliação de matérias-primas renováveis (BARROS, 2010; EPE, 2021b).

A diversificação das matrizes energética e elétrica é de suma importância, pois não há somente uma fonte disponível; há fontes não renováveis e renováveis, sendo que as renováveis permitem ainda o reaproveitamento de resíduos que são, geralmente, descartados sem valor agregado algum (BARROS, 2010; EPE, 2021b).

Neste sentido, estudos têm sido realizados sob diferentes perspectivas, como avaliação do custo sistêmico total da geração de energia, considerando as externalidades socioeconômicas e ambientais, análises da contribuição ambiental por meio da alteração da matriz energética ou análise de investimentos e riscos em eficiência energética (ARAGÓN; PAMPLONA; MEDINA, 2013).

## 2.2 BIOMASSA

Todo material orgânico biodegradável e não fossilizado de origem vegetal, animal ou microbiológico, que inclui resíduos e restos orgânicos da agricultura, das indústrias e dos municípios; além de gases e líquidos recuperados a partir da decomposição de matéria orgânica não fossilizada e biodegradável, com a finalidade de produzir energia, são denominados como biomassa (GOLDEMBERG, 2009; COPEL, 2016; LOPES; MARTINS; MIRANDA, 2019; LIPPEL, 2021).

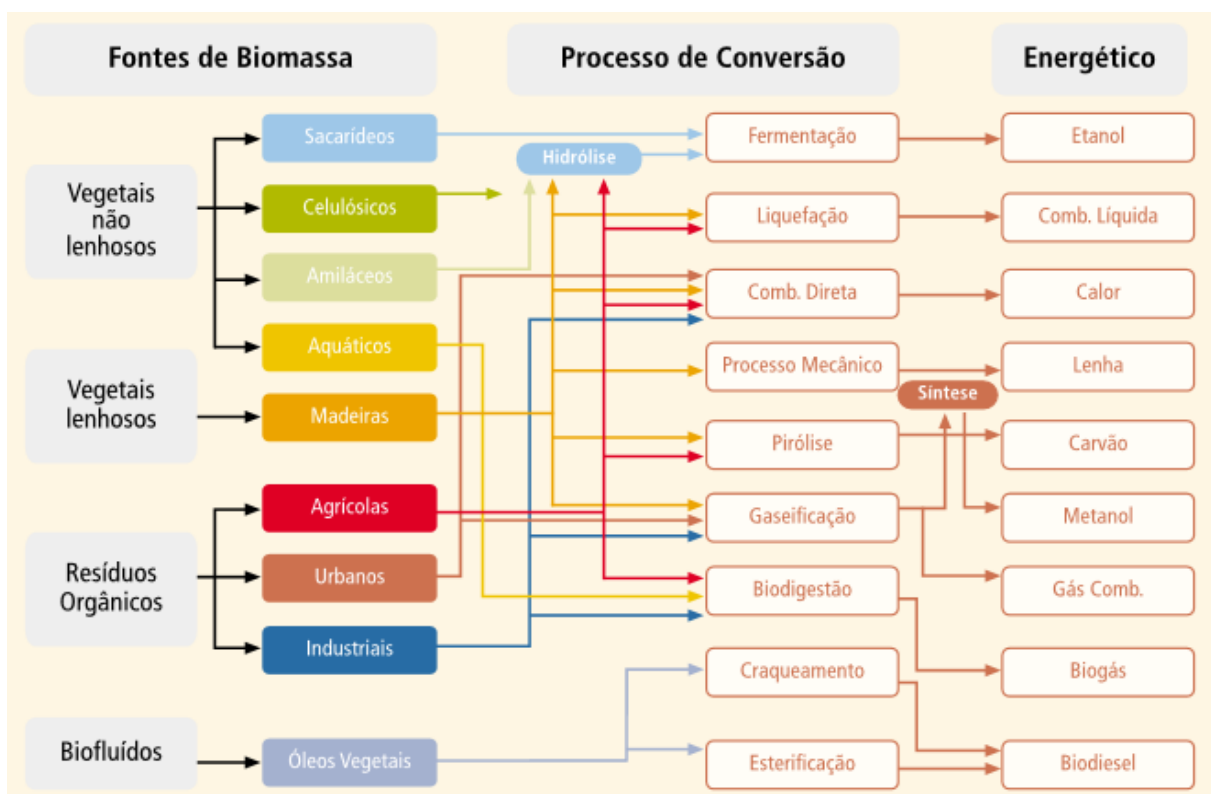
As plantas armazenam energia solar e a transformam em energia química que pode ser convertida em combustível ou calor e, conseqüentemente, em eletricidade (COPEL, 2016). Como podem ser plantadas e replantadas continuamente, considera-se a biomassa um recurso renovável (BERNI, 2016). A biomassa é a única fonte de energia renovável passível de armazenamento (utilização futura para produção de biocombustíveis), o que faz com que a mesma seja considerada uma fonte vantajosa (GOLDEMBERG, 2009; LOPES; MARTINS; MIRANDA, 2019).

Existe um grande número de tecnologias de conversão energética da biomassa, adequadas para aplicações em pequena e grande escalas como: gasosas (biogás, hidrogênio, gás de síntese), recuperação de energia de resíduos sólidos urbanos e gás de aterros sanitários, além dos biocombustíveis para o setor de transportes – líquidos (etanol e biodiesel) e sólidos (cavacos, pallets, briquetes) (GOLDEMBERG, 2009; LOPES; MARTINS; MIRANDA, 2019).

A Figura 1 exemplifica algumas formas existentes para a produção de biocombustíveis a partir de biomassa, como a combustão direta (com ou sem processos físicos de secagem, classificação, compressão, corte/quebra, etc.),

processos termoquímicos (gaseificação, pirólise, liquefação e transesterificação) e de processos de conversão da biomassa em energéticos.

**Figura 1** – Diagrama esquemático dos principais processos de conversão energética a partir de biomassa.



Nota: **Fermentação**: processo biológico anaeróbio em que os açúcares de plantas como a batata, o milho e, principalmente, a cana de açúcar são convertidos em álcool, por meio da ação de microrganismos (usualmente leveduras). Em termos energéticos, o produto final, o álcool, é composto por etanol e, em menor proporção metanol. **Combustão direta**: é a transformação da energia química dos combustíveis em calor, por meio das reações dos elementos constituintes com o oxigênio fornecido. **Gaseificação**: é um processo de conversão de combustíveis sólidos em gasosos, por meio de reações termoquímicas, envolvendo vapor quente e ar, ou oxigênio, em quantidades inferiores à estequiométrica (mínimo teórico para a combustão). O gás resultante é uma mistura de monóxido de carbono, hidrogênio, metano, dióxido de carbono e nitrogênio, cujas proporções variam de acordo com as condições do processo, particularmente se é ar ou oxigênio que está sendo usado na oxidação. **Pirólise**: a pirólise ou carbonização é um processo de conversão de um combustível em outro de melhor qualidade e conteúdo energético. O processo consiste em aquecer o material original, em “quase-ausência” de ar, até que o material volátil seja retirado. O principal produto final (carvão) tem uma densidade energética duas vezes maior que aquela do material de origem. **Digestão Anaeróbia**: é um processo que ocorre na ausência de ar, consistindo na decomposição da matéria orgânica pela ação de bactérias (microrganismos acidogênicos e metanogênicos). Em termos energéticos, o produto final é o biogás, composto essencialmente por metano (50% a 75%) e dióxido de carbono. O efluente gerado pelo processo pode ser usado como fertilizante. **Transesterificação**: é um processo químico que consiste na reação de óleos vegetais com um produto intermediário ativo (metóxido ou etóxido), oriundo da reação entre álcoois (metanol ou etanol) e uma base (hidróxido de sódio ou de potássio). Os produtos dessa reação química são a glicerina e uma mistura de ésteres etílicos ou metílicos (biodiesel). O biodiesel tem características físico-químicas muito semelhantes às do óleo diesel e, portanto, pode ser usado em motores de combustão interna, de uso veicular ou estacionário (ANEEL, 2005).

**Fonte**: Atlas de Energia Elétrica do Brasil 2003, por Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) (2005).

Do ponto de vista socioambiental, o uso de biomassa para geração de energia tem sido muito estudado e aplicado, tanto em países em desenvolvimento quanto em países desenvolvidos, tendo em vista a demanda por fontes mais competitivas e a necessidade de redução das emissões de poluentes atmosféricos, em especial diminuição de dióxido de carbono (ANEEL, 2005; EPE, 2007; LOPES; MARTINS; MIRANDA, 2019).

Os principais impedimentos no uso da biomassa como geração de energia são a necessidade por área para produção, transporte e os custos relativamente altos. De modo geral, existe necessidade de gestão do uso e ocupação do solo, gerenciamento dos impactos ambientais relevantes sobre a biodiversidade e os modos de produção, como a destruição da fauna e da flora, contaminação do solo e mananciais de água por uso inadequado de agrotóxicos e divisão adequada da biomassa para que não haja falta de alimentos para população. Estes impedimentos tendem à serem resolvidos com o tempo, de acordo com a evolução das tecnologias de conversão energética da biomassa e por meio de incentivos governamentais e políticos do setor elétrico (ANEEL, 2005; EPE, 2007; LOPES; MARTINS; MIRANDA, 2019).

De acordo com Ferreira, Moreira e Monteiro (2009), vale ressaltar que estudos sobre o uso de energias renováveis e fontes provenientes de biomassa, para bioenergia por meio de combustão devem ser estudadas a fim de investigar substâncias prejudiciais ao meio ambiente e aos seres vivos, pois pouco se sabe sobre suas emissões.

### 2.3 CULTURAS BIOENERGÉTICAS

As culturas energéticas (qualquer material vegetal plantado com intuito de produzir grande volume de biomassa para produção de biocombustíveis) estão presentes desde que as culturas agrícolas e florestais e seus resíduos foram utilizados como fonte principal de energia, até a chegada do óleo em 1859 (DIPTI; PRIYANKA, 2013; FERREIRA, 2015).

Em suma, culturas energéticas são espécies de plantas de rápido crescimento, grande produção de biomassa, com baixas necessidades de pré-tratamentos biológicos, químicos ou físicos, sem exigências de qualidade de solo (podendo ser plantadas em solos com pouca disponibilidade de nutrientes) e

localizações diversas (locais ameaçados por erosão, necessidade de reabilitação ou locais inoportunos para agricultores) (BORKOWSKA; MOLAS, 2013; FERREIRA, 2015).

De acordo com Sims et al., (2006) e Ferreira, (2015), as culturas energéticas podem ser classificadas em quatro grupos, tendo como base a tipologia da matéria-prima.

- Culturas oleaginosas como girassol, palma, soja, coco, amendoim, dentre outras, podem ser utilizadas diretamente usando o óleo vegetal como um combustível de aquecimento ou indiretamente quando refinado para produção de biocombustíveis para uso em meios de transporte, tais como ésteres de ácidos graxos;
- Cereais como cevada, trigo, milho, sorgo, centeio, dentre outros, podem ser utilizados como um combustível sólido ou como matéria-prima para produção de biogás (quando colhidos antes do amadurecimento do grão, usando a colheita inteira - grão e palha) ou etanol;
- Culturas de açúcar e amido como batata, beterraba, cana-de-açúcar, dentre outras, são utilizadas para produção de etanol a partir da fermentação de amido e glucose. O etanol utiliza-se diretamente como um combustível, ou em misturas com gasolina;
- Culturas energéticas lignocelulósicas como: miscanthus, switchgrass (*Panicum virgatum*) e culturas de curta rotação (o milho, o sorgo, a cana-de-açúcar, dentre outras) são utilizadas para a produção de etanol celulósico a partir de suas palhas, além de culturas de curta rotação (salgueiro, choupo e eucalipto) são aproveitadas para produção de calor e eletricidade diretamente através da combustão, ou indiretamente na produção de biocombustíveis como metanol e etanol celulósico.

Uma colheita de culturas bioenergéticas deve ser bem definida, devido a uma série de fatores, pela alta produção de biomassa, controle preciso da maturação e do período de colheita da cultura, minimização das perdas de manuseio ou deterioração após a colheita, otimização da produção, viabilidade econômica (no crescimento, na colheita e no armazenamento), e disponibilidade da matéria-prima para o processo industrial de conversão em conformidade com as necessidades do mercado, exigindo baixos requisitos de entrada e de cultivo que, posteriormente, contribuirão para alta eficiência energética e baixo impacto ambiental (EPE, 2007; FERREIRA, 2015).

## 2.4 DIESEL

O diesel é um óleo obtido a partir do refino do petróleo. Em sua composição, existem átomos de carbono, hidrogênio e em menores concentrações os compostos orgânicos, enxofre, nitrogênio e oxigênio, predomina-se os hidrocarbonetos alifáticos (contendo de nove a vinte e oito átomos de carbono em sua cadeia). O diesel é mais denso (cadeia de hidrocarbonetos maior) e menos volátil do que outros componentes do petróleo, como gasolina, o que simplifica a sua separação por destilação (SILVA, 2009; PETROBRAS, 2014; ECYCLE, 2021b).

O óleo diesel é um combustível utilizado em motores de ciclo Diesel (motor de ignição por compressão). É desenvolvido através da mistura de diversas correntes como gasóleos, nafta pesada, diesel leve e diesel pesado, provenientes das diversas etapas de processamento do petróleo bruto. Durante o processo de fabricação, o diesel é destilado em temperaturas na faixa de 160 a 410°C. Outra característica importante do diesel é o alto teor de enxofre, que varia de 0,1 a 0,5% (SILVA, 2009). Devido à grande variedade de origens de petróleo (matéria-prima) e formas de processos de destilação, comercialmente a composição do diesel é variada (SILVA, 2009; PETROBRAS, 2014; ECYCLE, 2021b).

Segundo o manual de Informações Técnicas de Óleo Diesel elaborado pela Petrobras (2014), no que se refere a adição de biodiesel no diesel, os óleos são classificados por A e B, sendo eles:

- Óleo diesel A: combustível produzido a partir de processos de refino de petróleo e processamento de gás natural, sem adição de biodiesel.
- Óleo diesel B: obtido a partir da adição de biodiesel ao óleo diesel A, no teor estabelecido pela legislação vigente.

De acordo com a necessidade de uso, são classificados quatro tipos de óleo diesel (combustível) para uso em motores, bem como:

1. Óleo Diesel S10 – produto com um máximo de 10 mg/Kg de enxofre total (uso rodoviário);
2. Óleo Diesel S500 - produto com um máximo de 500 mg/Kg de enxofre total (uso rodoviário).
3. Óleo Diesel TFM (S1800) – produto com teor máximo de 1800 mg/Kg de enxofre, uso não rodoviário (por exemplo: geração de energia em usinas termelétricas, transporte ferroviários e mineração);

4. Óleo Marítimo – produto destinado a embarcações (por questões de segurança, este óleo é produzido com a característica de ponto de fulgor acima de 60°C).

De forma geral, o óleo diesel tem grandes aplicações nos setores rodoviário (carros, ônibus, furgões, caminhões, dentre outros), industrial (geração de energia e aquecimento) e pequenas embarcações (SILVA, 2009; PETROBRAS, 2014; ECYCLE, 2021b).

No Brasil, a utilização do óleo diesel é verificada em veículos de grande porte (ônibus, caminhões, tratores e máquinas para mineração e dragagem) (BRAUN; APPEL; SCHMAL, 2004; SILVA, 2009; PETROBRAS, 2014; ECYCLE, 2021b).

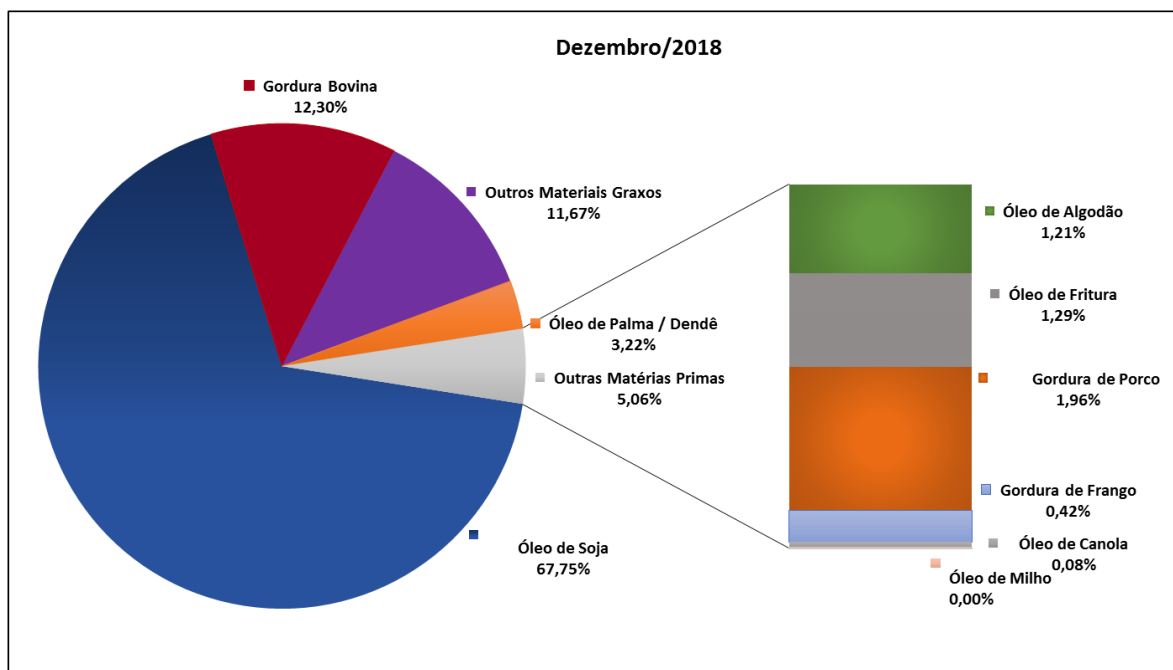
Vale ressaltar que, apesar de sua eficiência, a intensa utilização do óleo diesel desencadeia vários danos ao meio ambiente e aos seres humanos. Segundo o Instituto Nacional de Câncer (INCA), os gases provenientes da combustão de motores a diesel são compostos por uma mistura de componentes gasosos (tais como monóxido de carbono e dióxido de nitrogênio) e material particulado que, ao serem inalados, podem provocar o desenvolvimento de doenças. Devido a esta questão, há uma grande preocupação quanto à exposição aos gases liberados pelos veículos e motores que utilizam óleo diesel como fonte de energia, visto que os elementos provenientes da sua exaustão são danosos tanto aos seres vivos quanto a atmosfera (INCA, 2018).

## 2.5 BIODIESEL

O biodiesel é de natureza orgânica, produzido a partir de biomassa, como plantas (óleos vegetais), animais (gordura animal), inclusive resíduos como o óleo de cozinha usado. Diversos autores consideraram o biodiesel um combustível biodegradável, orgânico e renovável (CANAL, 2019; BIODIESELBR, 2021; EMBRAPA, 2021; UBRABIO, 2021).

O Gráfico 9 apresenta algumas das fontes de matéria-prima existentes, passíveis de serem utilizadas na produção de biodiesel.

**Gráfico 9** – Matérias-primas utilizadas para fabricação de biodiesel em dezembro/2018 por m<sup>3</sup> no Brasil.



Nota<sup>1</sup>: O percentual de matéria-prima apresentado se refere ao total de matéria-prima processada e foi extraído do Sistema de Movimentação de Produtos da ANP, última atualização em 22/01/2019.

Nota<sup>2</sup>: Outros materiais graxos = mistura de matérias-primas tradicionais em tanque e reprocessamento de subprodutos gerados na produção de biodiesel.

**Fonte:** Adaptado da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), conforme Resolução ANP nº 17/2004 e Resolução ANP nº 734/2018, ANP (2019).

A soja é responsável por cerca de 68% (Gráfico 9) da produção de biodiesel no Brasil, de acordo com a Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). A ANP informa ainda que a soja é a principal fonte para a produção de biodiesel no Brasil, mas a produção para combustível é o quarto produto, atrás do grão para exportação, do farelo e do óleo de cozinha (ANP, 2019).

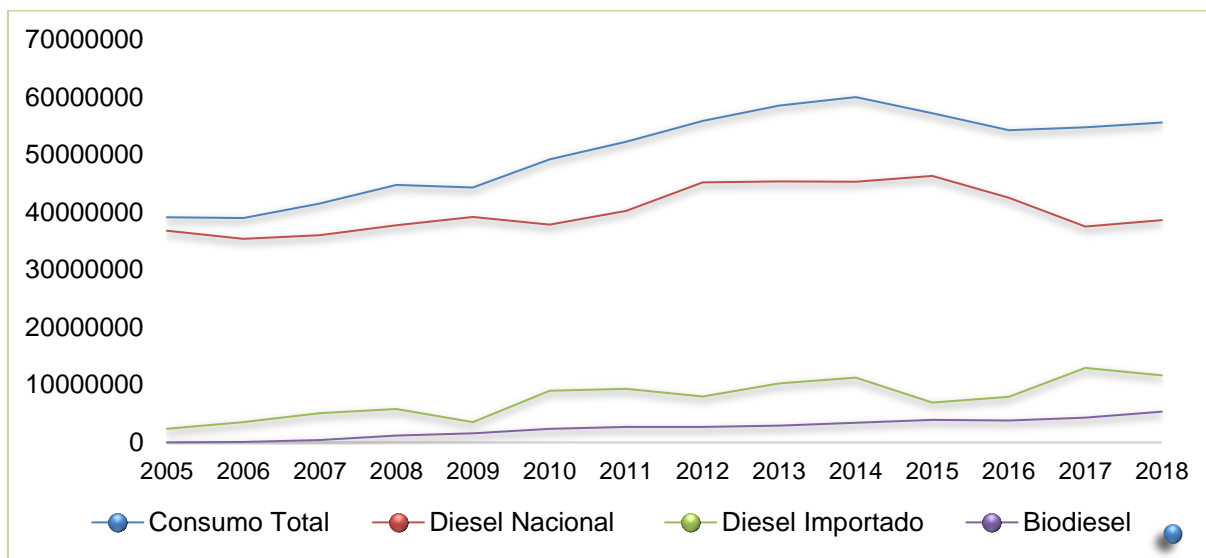
O biodiesel é um biocombustível para ser utilizado em veículos de grande porte (ônibus, caminhões, locomotivas, máquinas agrícolas e industriais etc.), geradores de energia, ou seja, qualquer tipo de motor a diesel, preferencialmente em misturas com o diesel (RAMOS et al., 2016; EMBRAPA, 2021; UBRABIO, 2021).

No Brasil, a adição de biodiesel no diesel começou com 2% em 2008 e foi evoluindo em conformidade com a Lei nº 13.263/2016 e a Resolução CNPE nº 16/2018 (BRASIL, 2016; UBRABIO, 2021). Em março de 2020, todo diesel fóssil vendido passou a ter obrigatoriedade de ao menos 12 partes de biodiesel no diesel (12% de

biodiesel e 88% diesel), com valor crescente em cerca de 1% ao ano e a expectativa de atingir 15% em 2023 (BRASIL, 2016; EMBRAPA, 2021; MME, 2021; RAMOS et al., 2016; UBRABIO, 2021).

No Gráfico 10, pode-se observar a trajetória do consumo de diesel e biodiesel no Brasil.

**Gráfico 10 – Consumo de diesel e biodiesel no Brasil (Litros).**



**Fonte:** Adaptado de UBRABIO, (2021).

O consumo nacional de biodiesel teve um aumento crescente significativo entre o ano de 2005 (736 L) para 2018 (5350036 L), chegando a um aumento de 5349300 L por ano (Gráfico 10), devido ao aumento da adição do biodiesel no diesel (mistura obrigatória) que, de acordo com a União Brasileira de Biodiesel e Bioquerosene (UBRABIO, 2021), se estabeleceu da seguinte forma:

- **B2:** Janeiro a Junho/2008;
- **B3:** Julho/2008 a Junho/2009;
- **B4:** Julho a Dezembro/2009;
- **B5:** Janeiro/2010 a Junho/2014;
- **B6:** Julho/2014 a Outubro/2014;
- **B7:** Novembro/2014 a Fevereiro/2017;
- **B8:** Março/2017 a Fevereiro/2018;
- **B10:** Março/2018 a Agosto/2019;
- **B11:** Setembro/2019 a Fevereiro/2020;

- **B12:** Atual.

A Tabela 2 revela as especificações da mistura biodiesel/diesel de B3 a B5, B6 a B30 e biodiesel puro (B100), comercializado no Brasil a partir de 2008.

**Tabela 2** – Caracterização de misturas biodiesel/diesel de B3 a B5, B6 a B30 e biodiesel puro (B100), comercializado no Brasil a partir de 2008.

Característica	Mistura biodiesel/diesel		Biodiesel	
	(B3 a B5)	(B6 a B30)	(B100) <sup>1</sup>	(B100) <sup>2</sup>
Densidade a 20 °C (Kg m <sup>-3</sup> )	820,0 – 880,0	817,8 – 865,0	850,0 – 900,0	850,0 – 900,0
Viscosidade a 40 °C (cSt)	2,0 – 5,0	1,9 – 4,1	3,0 – 6,0	3,0 – 6,0
Água (mg kg <sup>-1</sup> )	--	200	500	200
Resíduo de Carbono (% m/m)	0,25	0,25	0,05	--
Índice de Cetano	42	48	--	--
Enxofre (mg kg <sup>-1</sup> )	1.800	10	50	10
Corrosividade (cobre, 3 h à 50 °C)	1	1	1	1
Ponto de Fulgor (°C)	38	38	100	100
Glicerol total (% m/m)	--	--	0,25	0,25

Nota<sup>1</sup>: De 2005 à 2014.

Nota<sup>2</sup>: De 2014 em diante.

**Fonte:** Adaptado das Resoluções ANP n.º 15/2006; n.º 07/2008, n.º 45/2014 e n.º 30/2016.

O biodiesel substitui total (B100 – 100% de biodiesel) ou parcialmente o óleo diesel com semelhantes desempenho e rendimento, mas com algumas vantagens, entre as quais: redução da dependência por diesel fóssil importado; preço do combustível; aumento da vida útil do motor; risco de explosão apenas acima de 150°C, benefícios estes que corroboram as vantagens econômicas e sociais. (KNOTHE, 2010; CARVALHO, 2018; UBRABIO, 2021). Entretanto, pouco se sabe sobre as emissões provenientes das misturas biodiesel/diesel. Diversos autores afirmam terem encontrado substâncias tóxicas no ar em terminais de ônibus (ambientes fechados / semifechados), onde ocorre combustão de mistura biodiesel/diesel (MARTINS et al.,

2011; PINTO et al., 2014; PIRACELLI, 2015; SILVA JÚNIOR et al., 2019), portanto, estudos referentes à emissão de gases provenientes de misturas biodiesel/diesel devem ser realizados a fim de verificar se a adição de biodiesel ao diesel está sendo benéfica para o meio ambiente.

## 2.6 GASES E MATERIAL PARTICULADO

### 2.6.1 Gases

A atmosfera é constituída por uma grossa camada de gases que contém líquido em suspensão e partículas sólidas que envolvem a Terra, formando um sistema ambiental integrado (KEMP, 1994). Em resumo, os gases que constituem a atmosfera estão retratados no Tabela 3.

**Tabela 3** - Gases que formam a atmosfera.

CONSTITUINTES	PORCENTAGEM (%)
Nitrogênio (N)	78,00 10 <sup>0</sup>
Oxigênio (O <sub>2</sub> )	20,90 10 <sup>0</sup>
Argônio (Ar)	0,90 10 <sup>0</sup>
Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	0,03 10 <sup>0</sup>
Neônio (Ne)	18,18 10 <sup>-4</sup>
Hélio (He)	5,24 10 <sup>-4</sup>
Kriptônio (Kr)	1,14 10 <sup>-4</sup>
Xenônio (Xe)	0,89 10 <sup>-4</sup>
Hidrogênio (H <sub>2</sub> )	0,50 10 <sup>-4</sup>
Metano (CH <sub>4</sub> )	1,50 10 <sup>-4</sup>
Óxido Nitroso (N <sub>2</sub> O)	0,27 10 <sup>-4</sup>
Monóxido de Carbono (CO)	0,19 10 <sup>-4</sup>
Vapor D'Água (H <sub>2</sub> O) <sup>1</sup>	0,0 - 0,04 10 <sup>0</sup>
Ozônio (O <sub>3</sub> ) <sup>1</sup>	0,0 - 12,00 10 <sup>-4</sup>
Dióxido de Enxofre (SO <sub>2</sub> ) <sup>1</sup>	0,10 10 <sup>-6</sup>
Dióxido de Nitrogênio (NO <sub>2</sub> ) <sup>1</sup>	0,10 10 <sup>-6</sup>
Amônia (NH <sub>3</sub> ) <sup>1</sup>	0,40 10 <sup>-6</sup>
Óxido Nítrico (NO) <sup>1</sup>	0,50 10 <sup>-7</sup>
Sulfito de Hidrogênio (H <sub>2</sub> S) <sup>1</sup>	0,50 10 <sup>-8</sup>

Nota<sup>1</sup>: Constituintes de concentração variável.

Fonte: Liou, (1980).

A atmosfera é composta, essencialmente, por grupos, sendo um grupo constituído por gases permanentes e outros de concentração variável. Praticamente todos os gases liberados na atmosfera, sejam naturais ou poluentes, são totalmente oxidados e seus produtos no decorrer do tempo são sedimentados na superfície terrestre; desta forma, as reações de oxidação são de suma importância para a remoção dos poluentes do ar (BAIRD, 2002).

O nitrogênio, o oxigênio e o argônio somam 99,99% dos gases permanentes na atmosfera. Alguns dos constituintes permanentes como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO) e metano (CH<sub>4</sub>) têm suas concentrações altamente variadas, em função da altitude e, conseqüentemente, da pressão, temperatura,

posição geográfica e estações do ano (LIOU, 1980).

Existem poluentes na atmosfera compostos por gases (GALVÃO FILHO, 1989; CETESB, 2017). Apesar de uma porcentagem relativamente baixa de gases na atmosfera ser considerada poluente, eles têm um papel de suma importância, pois são perigosos e possuem efeitos danosos à saúde. Alguns poluentes gasosos são emitidos por meio de combustão, outros por vaporização, ou são formados por reações químicas na atmosfera. Os principais gases poluentes encontrados na atmosfera e no ar podem ser ordenados como gases contendo carbono, enxofre, nitrogênio e ozônio (GALVÃO FILHO, 1989; CETESB, 2017).

O Quadro 1 esclarece os principais poluentes do ar (gases e MP), apontando seus efeitos à saúde e ao meio ambiente.

**Quadro 1** – Principais substâncias poluentes na atmosfera.

(continua)

<b>Poluente</b>	<b>Características</b>	<b>Efeitos gerais ao meio ambiente</b>	<b>Efeitos a saúde</b>
Partículas Inaláveis (MP <sub>10</sub> )	Partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem, etc. Faixa de tamanhos < ou igual à 10 micra.	Danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo e da água.	Penetração via nariz e garganta, produz irritação nas vias respiratórias, inflamação pulmonar e sistêmica. Exposição crônica produz remodelamento brônquico. Pode ser cancerígeno.
Partículas Totais em Suspensão (PTS)	Partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem, etc. Faixa de tamanhos < ou igual a 50 micra.		
Dióxido de Enxofre (SO <sub>2</sub> )	Resultado da combustão de elementos fósseis (exemplo, carvão, petróleo). Gás incolor, com forte odor, semelhante ao gás produzido na queima de palitos de fósforo. É um importante precursor dos sulfatos, um dos principais componentes das partículas inaláveis.	Pode levar à formação de chuva ácida, causar corrosão aos materiais e danos à vegetação: folhas e colheita.	Afeta a mucosa dos olhos, nariz, garganta e do trato respiratório inferior. Aumenta a reatividade brônquica e a suscetibilidade às infecções.

**Quadro 1 – Principais substâncias poluentes na atmosfera.**

(conclusão)

<b>Poluente</b>	<b>Características</b>	<b>Efeitos gerais ao meio ambiente</b>	<b>Efeitos a saúde</b>
Dióxido de Nitrogênio (NO <sub>2</sub> )	Durante a combustão sob elevadas temperaturas, o oxigênio reage com o nitrogênio formando NO, NO <sub>2</sub> e outros óxidos de nitrogênio (NO <sub>x</sub> ). Estes compostos são extremamente reativos e na presença de O <sub>2</sub> , ozônio e hidrocarbonetos, o NO se transforma em NO <sub>2</sub> . Por sua vez, NO <sub>2</sub> , na presença de luz do sol, reage com hidrocarbonetos e oxigênio formando ozônio (O <sub>3</sub> ), sendo um dos principais precursores deste poluente na troposfera. Gás marrom avermelhado, com odor forte e muito irritante.	Pode levar a formação de chuva ácida, danos à vegetação e à colheita.	Afeta a mucosa dos olhos, nariz, garganta e do trato respiratório inferior. Aumenta a reatividade brônquica e a suscetibilidade às infecções.
Monóxido de Carbono (CO)	Gás incolor, inodoro e insípido, formado através da combustão incompleta do carbono. Com exceção dos fumantes (que são suas próprias fontes emissoras de CO), os mais prejudicados são os motoristas, ciclistas, pedestres que vivem/trabalham em grandes centros urbanos.		Através dos alvéolos, tem a união com a hemoglobina, interferindo no transporte de oxigênio. Pode provocar cefaleia, náuseas e tontura. Tem efeito deletério sobre o feto.
Ozônio (O <sub>3</sub> )	Formado por uma série de reações catalisadas pela luz do sol. Tem como precursores NO <sub>x</sub> e hidrocarbonetos, derivados principalmente de combustão móvel. Gás incolor e inodoro nas concentrações ambientais, é o principal componente de névoa fotoquímica <sup>1</sup> .	Danos às colheitas, à vegetação natural, plantações agrícolas e plantas ornamentais.	É um agente oxidante fotoquímico e muito irritante. Provoca inflamação da mucosa do trato respiratório. Em altas concentrações, irrita olhos, mucosa nasal e da orofaringe. Provoca tosse e desconforto torácico.

Nota<sup>1</sup>: “Oxidantes fotoquímicos” é a denominação que se dá à mistura de poluentes secundários formados por reações entre os óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis, na presença de luz solar, sendo estes últimos liberados na queima incompleta e evaporação de combustíveis e solventes. Tais poluentes formam a chamada névoa fotoquímica ou “smog fotoquímico”, que possui esse nome porque causa na atmosfera diminuição da visibilidade.

**Fonte:** Adaptado de Brait, (2008) e CETESB, (2017).

### 2.6.2 Material Particulado

A atmosfera consiste de uma mistura de gases, pequenas partículas e gotículas, as partículas pequenas e as gotículas em suspensão são denominadas de

aerossol (HOBBS, 2000) ou material particulado (MP) (BAIRD; CANN, 2011). O MP é formado por uma mistura de substâncias orgânicas e inorgânicas que variam em tamanho, forma e origem (GUARIEIRO; VASCONCELLOS; SOLCI, 2011; SILVA JÚNIOR, 2018; CETESB, 2021).

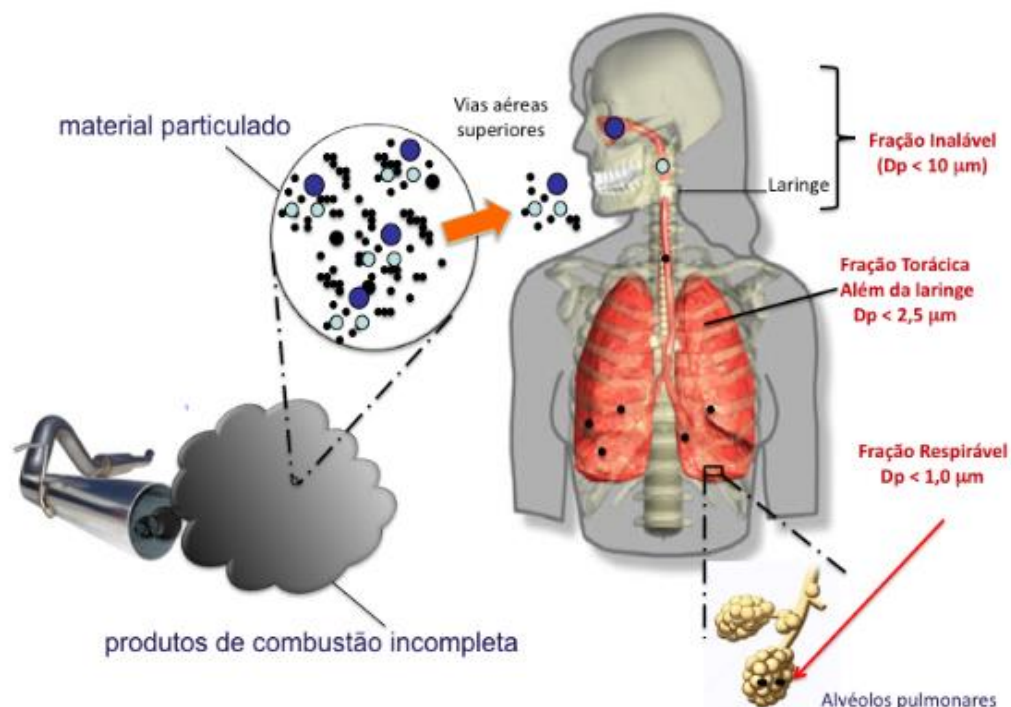
Material particulado é a denominação dada a partículas em suspensão na atmosfera, estas partículas são classificadas, principalmente, de acordo com seu diâmetro aerodinâmico: Partículas Totais em Suspensão (PTS) possuem diâmetro de até 100  $\mu\text{m}$ ; MP inalável ( $\text{MP}_{10}$ ) com diâmetro menor e igual a 10  $\mu\text{m}$ ; MP fino ( $\text{MP}_{2,5}$ ) que abrange partículas com diâmetro aerodinâmico menor ou igual a 2,5  $\mu\text{m}$  (FINLAYSON-PITTS; PITTS JUNIOR, 2000).

Sob a denominação geral de MP, se encontra uma série de poluentes (poeiras, fumaças e todo tipo de material sólido e líquido que se mantém suspenso na atmosfera) normalmente invisíveis a olho nu. A complexidade do material depende da origem da fonte emissora, da diversidade das fontes antrópicas, naturais e das condições meteorológicas (SILVA JÚNIOR, 2018).

A concentração de massa do MP é medida em microgramas por metro cúbico ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) e o tamanho é medido, em diâmetro aerodinâmico ( $D_p$ ), em micrometro. As características aerodinâmicas das partículas estão relacionadas à composição química, origem, transporte, remoção do ar, e à deposição no trato respiratório (WHO, 2000; GUARIEIRO; VASCONCELLOS; SOLCI, 2011; SILVA JÚNIOR, 2018; CETESB, 2021).

A Figura 2 ilustra as regiões do trato respiratório e onde as partículas, de acordo com seu tamanho (diâmetro da partícula –  $D_p$ ), podem se depositar.

**Figura 2** – Representação das áreas de depósito do material particulado no trato respiratório proveniente de processos de combustão em função do diâmetro da partícula ( $D_p$ ).



**Fonte:** Guarieiro, Vasconcellos e Solci, (2011).

Em função do seu tamanho, as partículas podem ser encontradas em diferentes regiões do sistema respiratório. As partículas inaláveis grossas, com diâmetro aerodinâmico médio ( $D_p$ ) entre 2,5 e 10  $\mu\text{m}$  ( $MP_{2,5}$  e  $MP_{10}$ ), são depositadas na laringe. Partículas finas, com diâmetro aerodinâmico menor de 2,5  $\mu\text{m}$  ( $MP_{2,5}$ ), atingem a fração torácica, o que causa danos à saúde humana. Partículas ultrafinas/nanopartículas, frações menores que 1,0  $\mu\text{m}$  ( $MP_{1,0}$ ) de diâmetro aerodinâmico chamadas de fração respirável (faixa de partículas finas), são decorrentes de diversos processos da sua formação e crescimento (vapores, condensação de partículas primárias, coagulação, agregados de partículas, conversão química de gases, gases voláteis, nucleação homogênea, crescimento de núcleos de condensação e gotículas), segundo Guarieiro, Vasconcellos e Solci, (2011). Silva Júnior, (2018) salienta ainda que esta faixa de partículas alcança os alvéolos pulmonares, o que ratifica doenças seriamente danosas à saúde de pessoas expostas a este tipo de emissão/poluição.

Os efeitos do MP sobre a saúde humana, os animais e materiais têm efeito mais prejudicial que a poluição produzida por gases poluentes (BAIRD; CANN, 2011). Partículas grossas são menos alarmantes que partículas finas ou respiráveis, devido ao seu tempo em suspensão no ar (partículas de maior tamanho aerodinâmico tendem a sedimentar mais rapidamente), são filtradas pelas vias respiratórias (nariz e garganta) e normalmente, não chegam até os pulmões (BAIRD; CANN, 2011).

O Quadro 2 revela algumas das principais fontes emissoras de particulado para a atmosfera, de acordo com sua fonte emissora (natural ou antrópica) e sua granulometria (fina ou grossa).

**Quadro 2** – Fontes emissoras e granulometria de material particulado inalável.

<b>Emissão</b>	<b>Granulometria</b>	<b>Tipo</b>	<b>Fonte</b>
Poeira do solo	Grossa	Primária <sup>2</sup>	Natural
Sal marinho			
Poeira vulcânica			
Sulfatos biogênicos	Fina	Secundária <sup>3</sup>	
SO <sub>2</sub> vulcânico			
VOC's <sup>1</sup>			
Poeira Industrial (exceto fuligem)	Grossa e Fina	Primária <sup>2</sup>	Antrópica
Fuligem	Fina		
Queima de Biomassa (exceto fuligem)			
Sulfatos	Fina	Secundária <sup>3</sup>	
VOC's <sup>1</sup>			
NO <sub>x</sub>	Grossa		

Nota<sup>1</sup>: VOC's (Compostos Orgânicos Voláteis).

Nota<sup>2</sup>: Poluentes Primários: aqueles emitidos diretamente pelas fontes de emissão.

Nota<sup>3</sup>: Poluentes Secundários: aqueles formados na atmosfera como o resultado de reações químicas (como hidrólise, oxidação ou reações fotoquímicas) envolvendo os poluentes primários.

**Fonte:** Adaptado de Jonas et al., (1995) apud Camarinha, (2010).

As fontes de emissão antrópicas podem ser classificadas de duas formas: fixas ou estacionárias e móveis. As fontes fixas ou estacionárias são caracterizadas pelas emissões a partir de combustão em locais fixos e locais em que intrinsecamente

ocorrem emissões (Quadro 3). Nesta categoria estão inclusas atividades não industriais (lavanderias, padarias, hotéis, hospitais, dentre outras). As fontes móveis são definidas de acordo com a variedade de veículos, máquinas e equipamentos que geram emissões de poluentes na atmosfera e que podem se mover (LOUREIRO, 2005).

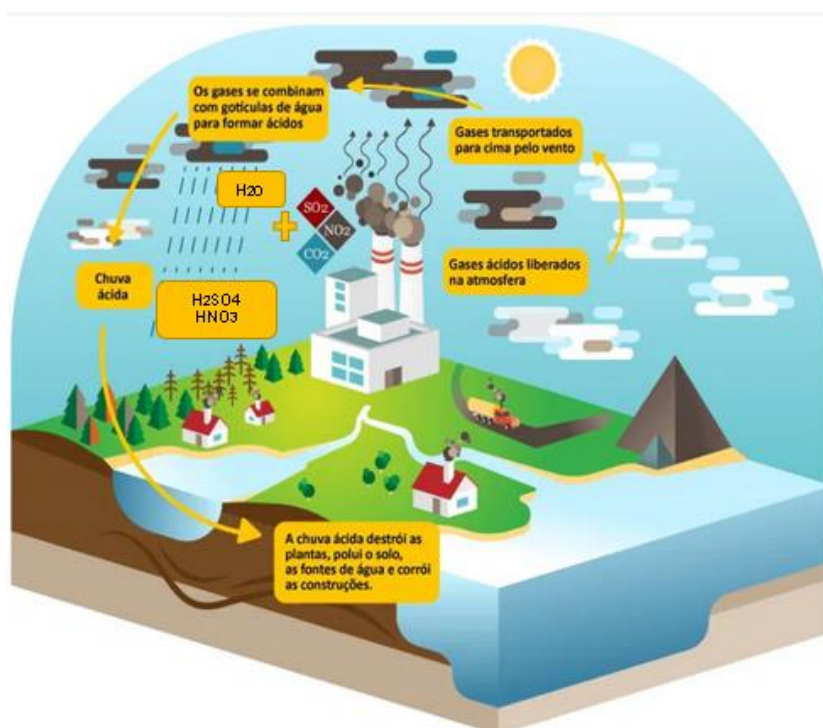
**Quadro 3** – Algumas das principais fontes poluidoras e seus respectivos poluentes.

Fontes		Poluentes
Classificação	Tipo	
Fontes Estacionárias	Combustão	Material particulado (MP), dióxido de enxofre (SO <sub>2</sub> ), trióxido de enxofre (SO <sub>3</sub> ), monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio (NO <sub>x</sub> ).
	Processo Industrial	Material particulado (fumos, poeiras e névoas); Gases: SO <sub>2</sub> , SO <sub>3</sub> , HCl e hidrocarbonetos, mercaptans, HF, H <sub>2</sub> S e NO <sub>x</sub> .
	Queima de Resíduos Sólidos	Material particulado; Gases: SO <sub>2</sub> , SO <sub>3</sub> , HCl e NO <sub>x</sub> .
	Outros	Hidrocarbonetos e material particulado.
Fontes Móveis	Veículos Automotores	Material particulado, monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio, hidrocarbonetos e óxidos de enxofre.
	Aviões e Barcos	Óxidos de enxofre e óxidos de nitrogênio.
	Locomotivas, etc.	Ácidos orgânicos, hidrocarbonetos e aldeídos.
Fontes Naturais		Material particulado (poeiras); gases: SO <sub>2</sub> , SO <sub>3</sub> , HCl, NO <sub>x</sub> , hidrocarbonetos.
Reações Químicas		Poluentes secundários - O <sub>3</sub> , aldeídos, ácidos orgânicos, nitratos orgânicos, aerossol fotoquímico etc.

Fonte: CETESB, (2021).

As partículas finas e grossas inferiores a  $10\ \mu\text{m}$  (particulado inalável) são constituídas essencialmente por sulfatos, nitratos, amônio, aerossol carbonáceo, sais marinhos, elementos de solo (Al, Si, Ca, Fe), metais pesados (Pb, Zn, V, Ni, Cd, Cr, dentre outros) e água (CASTANHO, 1999). De acordo com Saldiva, (1991) e Cardu e Baica, (1999), o MP fino apresenta alto risco à saúde humana, causando diversos danos à saúde, principalmente problemas respiratórios como a asma e a bronquite, além de reduzir a visibilidade de condutores em altas concentrações e contribuir para a formação da chuva ácida (Figura 3).

**Figura 3** – Ciclo da chuva ácida, origem, como ocorre e consequência.



**Fonte:** Adaptado de Guia Estudo – Química, (2020).

A combustão incompleta de combustíveis fósseis ou biocombustíveis produz fuligem na forma elementar, *Black Carbon* (BC), que corresponde à fração do material carbonáceo que absorve luz visível. A fumaça associada com a porção de fuligem da emissão de MP dos veículos a diesel é causada pela falta de oxigênio durante a combustão ou na fase de expansão.

Aditivos do combustível diesel como bário, cálcio e magnésio reduzem a emissão de fumaça, mas aumentam a emissão de material particulado de sulfatos. Estes aditivos também podem aumentar as emissões de hidrocarbonetos policíclicos

aromáticos (HPA) (BRAUN; APPEL; SCHMAL, 2004; CAMARINHA, 2010).

Em uma visão global, as fontes que mais contribuem para a formação de MP são industriais, transportes, domésticas, as resultantes da queima de biomassa, construção/demolição e as agrícolas. Já em escala regional, as fontes mais importantes são a queima de combustíveis fósseis, centrais termoeletricas e atividades industriais (CALVO et al., 2013).

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), por meio da Resolução Nº 491, de 19 de novembro de 2018, determinou limites para emissão de poluentes atmosféricos, estabelecendo, portanto, padrões de qualidade do ar. O plano de controle de emissões foi dividido em quatro partes, sendo os padrões intermediários denominados por PI-1, PI-2, PI-3 e PF (padrão de qualidade do ar final) (BRASIL, 2018).

Na Tabela 4 é possível visualizar os padrões de qualidade do ar, em conformidade com a resolução em vigor no Brasil (CONAMA 491, 2018).

**Tabela 4** – Padrões de qualidade do ar, de acordo com poluente, período de exposição e classificação (PI-1, PI-2, PI-3 e PF).

<b>Poluente Atmosférico</b>	<b>Período de referência</b>	<b>PI-1 (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>PI-2 (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>PI-3 (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>PF (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>
Material Particulado -	24 horas	120	100	75	50
MP <sub>10</sub>	Anual	40	35	30	20
Material Particulado -	24 horas	60	50	37	25
MP <sub>2,5</sub>	Anual	20	17	15	10
Dióxido de Enxofre –	24 horas	125	50	30	20
SO <sub>2</sub>	Anual	40	30	20	-
Dióxido de Nitrogênio -	1 horas	260	240	220	200
NO <sub>2</sub>	Anual	60	50	45	40
Ozônio (O <sub>3</sub> )	8 horas	140	130	120	100
Fumaça	24 horas	120	100	75	50
	Anual	40	35	30	20
Partículas Totais em	24 horas	-	-	-	240
Suspensão (PTS)	Anual	-	-	-	80
Chumbo - Pb5	Anual	-	-	-	0,5

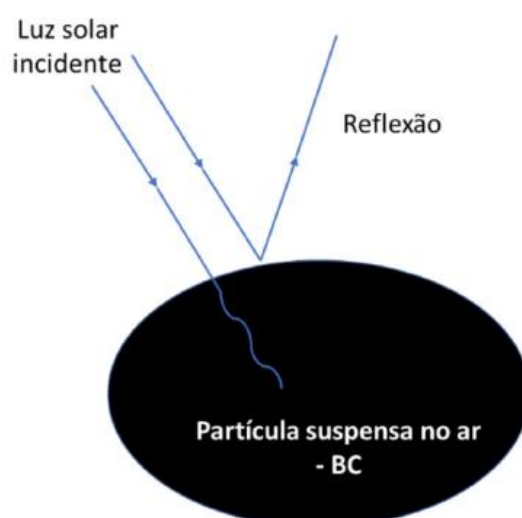
**Fonte:** Adaptado de CONAMA 491, (2018).

## 2.7 BLACK CARBON

As partículas de *black carbon* consistem em carbono elementar quase puro com oxigênio e hidrogênio ligados em uma estrutura hexagonal em camadas que correspondem a uma estrutura de cristal gráfitico (KUMAR; MAHARANA, 2020). O BC é um dos principais componentes do MP<sub>2,5</sub> e suas fontes predominantes são queima de combustíveis fósseis para transporte, combustíveis sólidos para indústrias, queima residencial de madeira e carvão, queima a céu aberto de biomassa (agricultura, floresta e vegetação em geral), centrais elétricas que utilizam óleo pesado ou carvão e por condensação da fase gasosa em chamas redutoras (partículas de fuligem) (JANSSEN et al., 2012; BOND et al., 2013; KUMAR; MAHARANA, 2020).

O BC também pode influenciar negativamente o clima, pois ele absorve a radiação solar, aquecendo a atmosfera e dispersando a luz, reduzindo a radiação solar que atinge a superfície, que é refletida de volta para o espaço (BOND et al., 2013; KUMAR; MAHARANA, 2020). A Figura 4 apresenta o modo de interação da luz solar com partículas atmosféricas contendo BC em suspensão. A absorção da luz por partículas contendo BC leva ao aquecimento do ar circunvizinho. Além disso, o BC afeta o desenvolvimento de nuvens, alterando o número de gotículas e de partículas de gelo, altera a estrutura de temperatura das nuvens, podendo causar derretimento da neve e do gelo devido à sua absorção da radiação solar (BOND et al., 2013).

**Figura 4** – Interação da luz solar com partículas suspensas no ar (*black carbon*).



Fonte: SILVA JÚNIOR, (2018); BAIRD e CANN, (2011).

De acordo com Silva Júnior, (2018), o BC está associado principalmente ao MP fino, o que o torna um dos poluentes mais prejudiciais à saúde humana. Em virtude do seu tamanho (pequeno), ele pode se manter no ar por um longo período de tempo; estando associado a partículas finas, pode penetrar profundamente no sistema respiratório humano (FENG et al., 2014). Vale ressaltar que os efeitos à saúde estão associados a diversos fatores, como a variação diária de exposição a concentrações de BC, de médio e longo prazo; estas variantes causam diretamente problemas à saúde humana, podendo favorecer a mortalidade cardiovascular e hospitalizações cardiopulmonares (JANSSEN, 2012).

## 2.8 DANOS CAUSADOS POR MATERIAL PARTICULADO

Considera-se poluente qualquer substância presente no ar (ambiente aberto e fechado) e que, pela sua concentração, possa torna a atmosfera imprópria, nociva ou ofensiva à saúde, causando danos aos materiais, à fauna, à flora ou ao meio ambiente (insegurança às atividades normais da comunidade) (ANDRADE FILHO, 2011; INCA, 2018; CETESB, 2021).

Os níveis de poluição atmosférica são medidos pela concentração de substâncias poluentes presentes no ar. Existe uma variedade de elementos que podem ser encontrados na atmosfera, o que torna difícil a tarefa de estabelecer um limite/classificação de cada substância e o emissor pontual (ANDRADE FILHO, 2011; CETESB, 2021).

Os efeitos adversos da poluição sobre o homem, os animais, as plantas e os materiais são determinados de acordo com a interação entre as fontes de poluição e a atmosfera, que irão definir o nível da qualidade do ar (ANDRADE FILHO, 2011; CETESB, 2021).

A combustão é um processo químico pelo qual um material reage rapidamente com o oxigênio do ar, produzindo luz e calor, de origem natural ou antrópica (ANDRADE FILHO, 2011; CETESB, 2021). A partir deste processo, os motores a diesel emitem gases e materiais particulados que diminuem a qualidade do ar. (ANDRADE FILHO, 2011; INCA, 2018; CETESB, 2021). Essas emissões foram classificadas como cancerígenas para seres humanos pela Agência Internacional de Pesquisa sobre o Câncer (Iarc), ligada a ONU. A agência concluiu que alta exposição

a emissões provenientes de combustão de diesel causa câncer de pulmão (INCA, 2018).

De acordo com a Organização Mundial de Saúde (World Health Organization –WHO), a poluição atmosférica é de suma importância e extremamente preocupante, pois é o maior risco para a saúde ambiental no mundo, (WHO, 2015). A OMS elucida ainda que a poluição do ar pode ser responsável por cerca de 8 milhões de mortes anualmente, sendo que 3,7 milhões de mortes são decorrentes da poluição ambiental em ambientes externos, e 4,3 milhões em ambientes internos (WHO, 2015).

Estudos epidemiológicos têm mostrado um crescimento de hospitalizações e de aumento na mortalidade por doenças respiratórias e cardiovasculares em diferentes regiões do mundo, relacionadas à exposição de poluentes presentes na atmosfera, principalmente nos grupos mais susceptíveis (crianças e idosos), até mesmo em níveis considerados seguros pela legislação ambiental (HAJAT et al., 2001; ANDRADE FILHO, 2011; CETESB, 2021).

Os efeitos da poluição atmosférica sobre a saúde são danosos, manifestando reflexos sobre o aparelho respiratório, cardiovascular, digestivo, sobre a pele e os olhos. A exposição humana aos poluentes é normalmente dividida em crônica ou aguda (GONÇALVES, 2010; MS, 2021). Exposição crônica é a exposição que ocorre durante um prolongado período de tempo, até vários anos. Exposição aguda é a exposição a elevados níveis de concentração de poluentes, mas que acontece em um curto período de tempo (horas ou alguns dias) (CANÇADO et al., 2006; MS, 2021).

O Quadro 4 apresenta alguns malefícios à saúde decorrentes da exposição a material particulado (efeitos potenciais, agudos e crônicos), alguns tratamentos, e algumas formas de exposição (no trabalho e no ambiente).

**Quadro 4** – Efeitos do material particulado na população, alguns tratamentos e as maiores formas de exposição.

<b>Material Particulado</b>		
Efeitos potenciais sobre a saúde (geral)	Irritação, inflamação e aumento da reatividade brônquica; Sibilos, exacerbação de crises de asma brônquica; Infecções respiratórias; DPOC <sup>1</sup> ; Exacerbação de DPOC <sup>1</sup> ; Agravamento da resposta a outros poluentes tóxicos; distúrbios do coração e dos vasos sanguíneos, aumento do risco de câncer de pulmão.	
Efeitos agudos	Tontura, vômito, pneumonia química, irritação de pele, do trato digestório e mucosas, sensação de ardência nos olhos, lacrimejamento, náusea, diarreia, perda de memória.	
Efeitos crônicos	Doenças cardiovasculares, perda de memória, dificuldade de concentração, perturbações no sono, tremores, cefaleia e câncer de pulmão.	
Tratamentos	Os tratamentos são administrados para aliviar os sintomas. Por exemplo, medicamentos usados para tratar asma (como broncodilatadores, que abrem as vias aéreas) podem aliviar alguns sintomas. Se os sintomas forem graves, as pessoas podem precisar receber oxigênio suplementar ou ventilação mecânica.	
Formas de exposição	No trabalho	Os profissionais mais expostos a fumaça de motores a diesel, principalmente por via inalatória, são aqueles que prestam serviços relacionados ao tráfego rodoviário, transporte de cargas e de passageiros, embarcações, locomotivas, geração de energia, máquinas para construção civil e agrícolas, transporte de equipamentos pesados e vários setores industriais
	Ambiental	Além da exaustão de veículos automotores, há também a liberação de vapores de outros equipamentos que utilizam motores a diesel, como geradores de energia ou equipamentos industriais.

Nota<sup>1</sup>: DPOC = Doenças Progressivas Obstrutivas Crônicas.

**Fonte:** Adaptado de WHO, (2005); ANDRADE FILHO, (2011); INCA, (2018) e CETESB, (2021).

O tempo de permanência do MP no organismo humano irá depender do nível de deposição ao longo do sistema respiratório e sua absorção por outros processos da fisiologia humana, podendo ser eliminado logo após a inalação ou gradativamente (ANDRADE FILHO, 2011). Conforme estas partículas vão se depositando no trato respiratório, elas passam a ser “removidas” por mecanismos de defesa (por exemplo, espirro e tosse). Contudo, as que são inaladas profundamente, possivelmente podem contribuir para a evolução de doenças graves como sinusite, pneumonia, faringite, amigdalite, entre outras de caráter agudo; enfisema, doenças progressivas obstrutivas crônicas (DPOC), bronquite, asma, entre outras de caráter crônico (CANÇADO et al., 2006).

As medidas de providência e cuidados incluem a implementação de um Plano de Controle de Poluição em veículos, conforme estabelecido na Resolução CONAMA 491 (2018), realização do monitoramento da qualidade do ar nas cidades, desenvolvimento de um sistema de transporte sustentável e fiscalização das conversões ilegais de motores dos veículos. É importante salientar que fiscalizações em ambientes fechados também têm que acontecer, afinal, a exposição ocupacional é muito preocupante, já que muitas vezes os trabalhadores são expostos a maiores concentrações de substâncias químicas do que a população em geral.

A poluição atmosférica atinge imensamente a cobertura vegetal, e a vegetação é o ser vivo mais sensível a poluentes no ar. Com o tempo, os efeitos dos poluentes e suas interações podem resultar em uma sequência de alterações, em comunidades vegetais, como, eliminação de espécies sensíveis, redução na diversidade, remoção seletiva das espécies dominantes, diminuição no crescimento e na biomassa e aumento da suscetibilidade ao ataque de pragas e doenças (SILVA et al., 2010; CETESB, 2021).

### 3 JUSTIFICATIVA

Os efeitos da poluição do ar podem ser caracterizados pela alteração de condições consideradas normais e pela potencialização de problemas já existentes, que podem se manifestar na saúde, no bem-estar da população, na vegetação, na fauna e sobre os materiais.

Para reduzir o impacto de alguns poluentes das emissões veiculares, o uso de alternativas e misturas de combustível foram empregadas, porém, pouco se sabe sobre suas emissões.

Nesse sentido, pesquisadores têm explorado emissões veiculares de material particulado (MP) e frações de *black carbon* (BC); para uma melhor compreensão, algumas pesquisas práticas foram realizadas a fim de identificar esta questão. Os resultados obtidos nas medições nas rodoviárias urbanas representam grande parte das emissões de um grande número de veículos em condições operacionais.

Durante estes anos, espécies tóxicas como os hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAP) e seus derivados nitro-derivados, compostos de carbonila e íons principais, entre outros, foram determinados após o aumento da quantidade de biodiesel na mistura com combustível diesel, de acordo com a Legislação Brasileira, 3% de biodiesel adicionado ao diesel fóssil (B3) até B8 (TAVARES et al., 2004; FREITAS; SOLCI, 2009; PINTO et al., 2014; SABINO, 2015; SILVA JÚNIOR et al., 2019).

Embasado na problemática descrita, o presente estudo tem como propósito, quantificar os níveis de BC, MP<sub>1,0</sub> e MP<sub>2,5</sub> (partículas com diâmetro  $\leq 1,0$  e  $2,5 \mu\text{m}$ , respectivamente) e sua variabilidade durante a combustão de misturas de biodiesel/diesel B10 e B11 usadas em aplicações de veículos pesados em condições operacionais reais. Compreende-se ser importante estimar as emissões antrópicas e monitorá-las, com o propósito de mitigar as mudanças climáticas no âmbito local e melhorar a qualidade do ar urbano, de modo a proporcionar melhor qualidade de vida à população.

## 4 OBJETIVOS

### 4.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo quantificar os níveis de BC e do material particulado fino (MP<sub>1,0</sub> e MP<sub>2,5</sub>) e sua variabilidade em ambientes interno e externo em função da utilização de misturas combustíveis diesel/biodiesel (B10 e B11) utilizadas em veículos sob condições reais de operação.

### 4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Quantificar o Material Particulado (MP) de MP<sub>1,0</sub> e MP<sub>2,5</sub>, partículas com diâmetro inferior ou igual a 1,0 e 2,5 µm, respectivamente;
- Quantificar o *Black Carbon* (BC) existente nestes dois ambientes;
- Quantificar a variabilidade da combustão de misturas biodiesel/diesel;
- Comparar os resultados obtidos entre as campanhas de amostragem realizadas anteriormente e posteriormente no mesmo local.

## 5 METODOLOGIA

A seguir, serão descritos os métodos utilizados para realização deste trabalho, como, detalhamento do local de amostragem, procedimentos de amostragem MP e determinação de BC.

### 5.1 ÁREA DE ESTUDO

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o Paraná é o quinto estado com a maior população do País. O estado tem 11.516.840 habitantes, o que o consolida como o estado mais populoso da Região Sul (IBGE, 2020). A cidade do interior com a maior população é Londrina, com cerca de 575.377 habitantes e densidade demográfica de 306,52 habitantes/Km<sup>2</sup> (IBGE, 2010; IBGE, 2020).

Londrina está situada entre 23°08'47" e 23°55'46" de Latitude Sul e entre 50°52'23" e 51°19'11" a Oeste de Greenwich, ocupando 1.652,5699 km<sup>2</sup>, cerca de 1% da área total do Estado do Paraná (CODEL, 2015). Situada ao norte do Estado com 610m de altitude, a cidade conta com clima subtropical, com temperatura média mínima inferior a 18°C (mesotérmico) e temperatura média máxima de 22°C, com verões quentes, geadas pouco frequentes e tendências de concentração de chuvas nos meses de verão, sem estação seca definida (BARROS et al., 2021). No município, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, a frota veicular soma um total de 412.755 veículos licenciados (IBGE, 2020). A Tabela 5 elucida as quantidades e categorias de veículos licenciados em Londrina-PR.

**Tabela 5** – Frota de veículos automotores de Londrina-PR de acordo com categoria e quantidade.

<b>Tipo de Veículo (Categoria)</b>	<b>Quantidade</b>
Automóvel	241.708
Caminhão	9.495
Caminhão trator	2.244
Caminhonete	32.145
Camioneta	15.726
Chassi plataforma	1
Ciclomotor	2.069
Micro-ônibus	870
Motocicleta	74.088
Motoneta	17.829
Ônibus	1.988
Quadriciclo	1
Reboque	6.238
Semi-reboque	3.256
Sidecar	42
Trator de rodas	67
Triciclo	115
Utilitário	4.829
Outros	44
<b>Total</b>	<b>412.755</b>

**Fonte:** Adaptado de IBGE, (2020).

## 5.2 LOCAIS DE AMOSTRAGEM

As amostragens foram realizadas em dois ambientes: no piso inferior do Terminal de Ônibus Urbano Central de Londrina (TCUL), local semi-fechado com baixa circulação de ar, onde a velocidade média de circulação dos ônibus é de 20km/h (CMTU, 2019) e no pátio do Museu Histórico de Londrina (MHL), ambiente aberto. Os dois pontos de coleta estão distantes aproximadamente 114m um do outro, ambos localizados em avenida de alto tráfego veicular misto (Figura 5).

**Figura 5** – Localização dos pontos de coleta.



Fonte: Google Earth, 2019.

No TCUL, os ônibus são separados por linhas e divididos em dois andares, sendo o andar superior aberto e o andar inferior classificado como local semifechado. As amostragens foram realizadas no piso térreo (semifechado), com saída dos ônibus para a avenida principal de acesso (Avenida Leste-Oeste). As amostragens realizadas no interior do TCUL são de fonte exclusiva, com origem na combustão de diesel/biodiesel dos motores dos ônibus. No TCUL, os ônibus circulam em baixa velocidade e desligam os motores durante as paradas (tempo variado, chegando, no máximo, a 15 minutos). O terminal permanece em funcionamento por 24h, com redução no número de veículos durante a madrugada. De acordo com a CMTU, em 2020 mais de 100.000 pessoas circularam no terminal em dias úteis, sendo que o local não possui equipamentos para circulação de ar. A Figura 6 ilustra o piso inferior do TCUL.

**Figura 6** – Piso térreo do Terminal de Ônibus Urbano Central de Londrina.



**Fonte:** Própria autora, (2020).

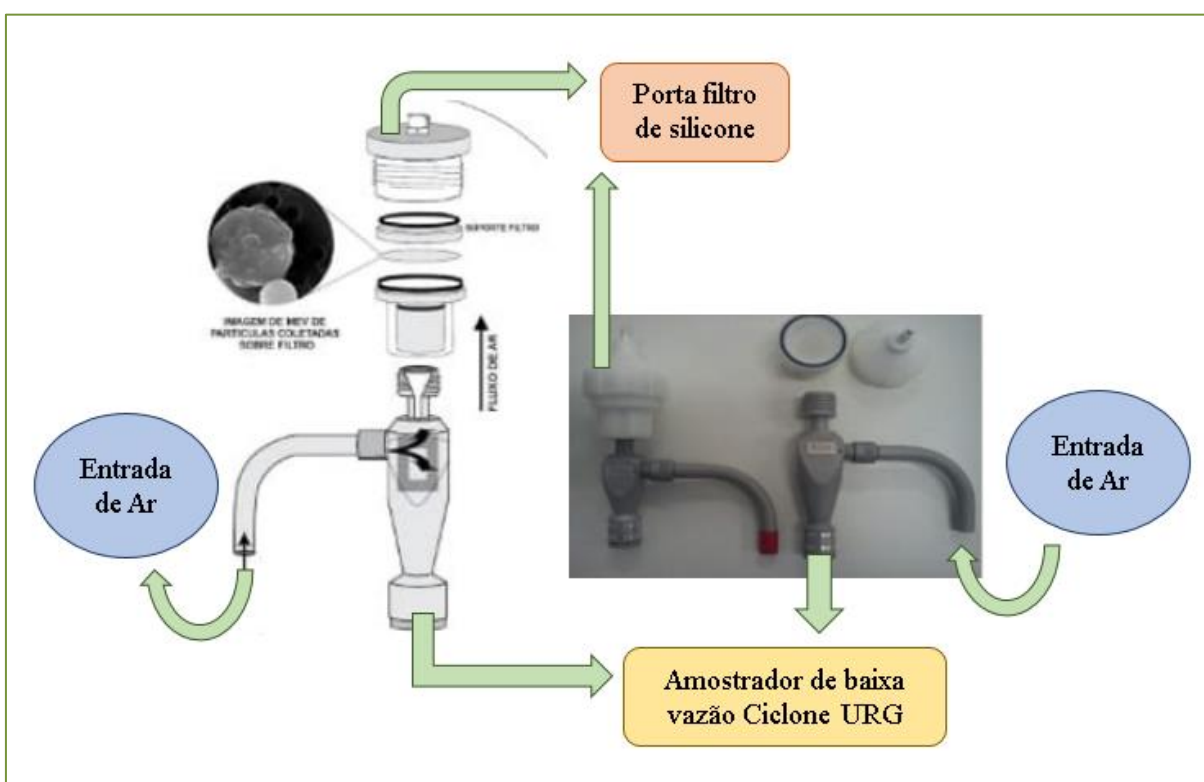
### 5.3 AMOSTRAGEM DO MATERIAL PARTICULADO FINO (MP<sub>1,0</sub> E MP<sub>2,5</sub>)

As campanhas de amostragem foram realizadas em dois períodos, sendo uma com o uso do combustível B10 e outra com o combustível B10 e B11. As amostragens ocorreram no interior do TCUL e no pátio do MHL. Foram coletadas 125 amostras ao longo das campanhas. A primeira campanha ocorreu entre os meses de julho e agosto de 2019 (B10) e a segunda campanha entre agosto (B10) e setembro (B11) de 2019. As amostras foram coletadas ao longo de duas semanas, incluindo sábados e domingos, em períodos de 24 horas de amostragem.

Para coleta do material particulado de MP<sub>1,0</sub> e MP<sub>2,5</sub>, foram utilizados ciclones (MP<sub>1,0</sub> URG-2000-30EH e MP<sub>2,5</sub> URG-2000-30EH, URG Corporation, EUA) (Figura 7) operados a vazão de 16,7 L min<sup>-1</sup> (1002 L h<sup>-1</sup>) usando filtros de quartzo de 47 mm

(Sartorius, Alemanha). Os amostradores foram instalados na sala da equipe de manutenção da Companhia Municipal de Trânsito e Urbanização de Londrina (CMTU), por ser um local de acesso restrito, e no pátio do Museu Histórico de Londrina por ser um ambiente envolvido por grades e monitorado por câmeras e guardas durante as 24 horas do dia.

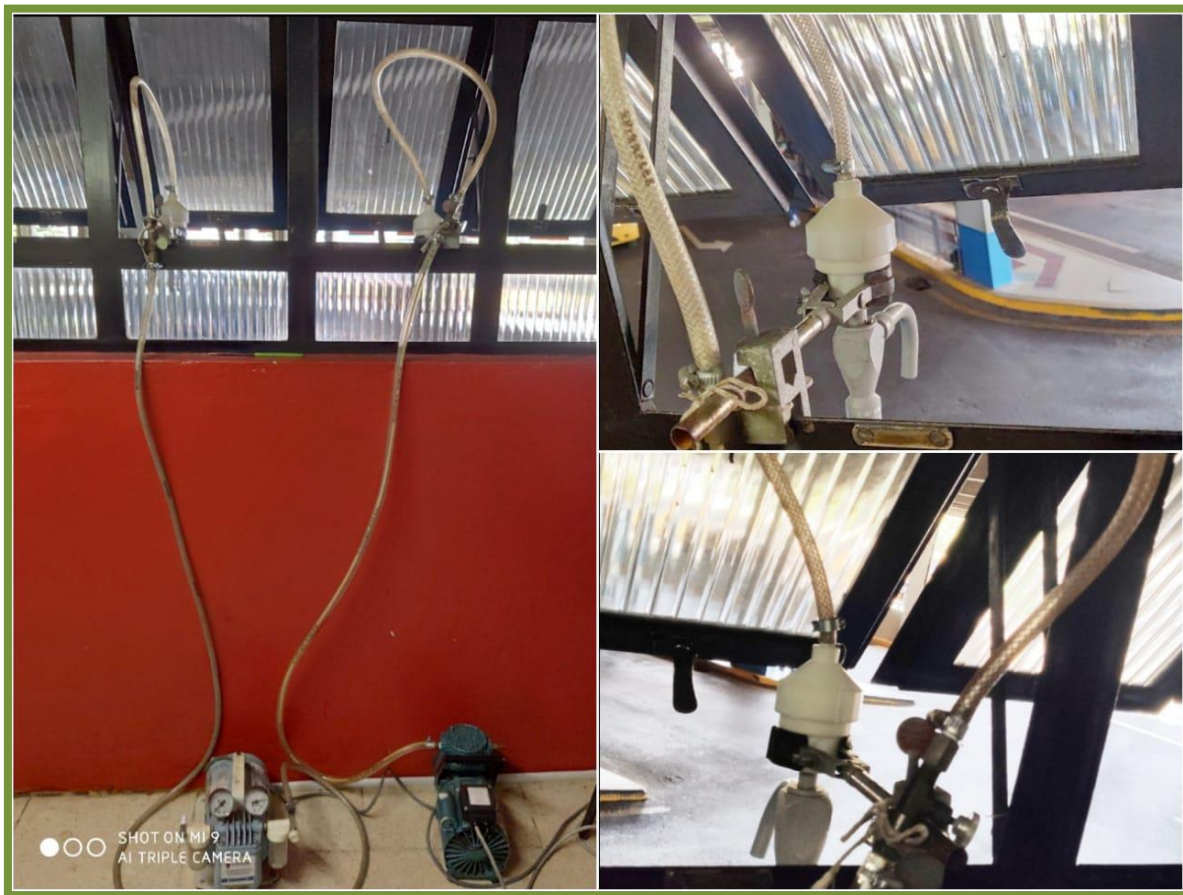
**Figura 7** – Sistema de amostragem de material particulado fino (Ciclone URG e porta filtro de silicone).



Fonte: Própria autora, (2020).

Os amostradores no TCUL foram montados nas janelas internas da sala (Figura 8), voltadas à área de embarque e desembarque de passageiros a uma altura aproximada de 3 metros do piso do térreo. No MHL, os amostradores foram instalados no pátio (ambiente aberto) (Figura 9), com influência de múltiplas fontes de emissão de poluentes. Os coletores foram conectados a uma bomba de diafragma (Fanen, Brasil e KNF Neuberger, Alemanha) e as vazões foram controladas por válvulas de agulha e orifícios críticos. As taxas de fluxo foram medidas diariamente por rotâmetros de esfera (Fisher & Porter, Alemanha). A temperatura e a umidade relativa foram obtidas com o Data Logger HOBO (EUA).

**Figura 8** – Equipamentos coletores no local de amostragem (sala da equipe de manutenção da Companhia Municipal de Trânsito e Urbanização de Londrina - CMTU).



Fonte: Própria autora, (2020).

**Figura 9** – Equipamentos coletores no local de amostragem (pátio do Museu Histórico de Londrina).

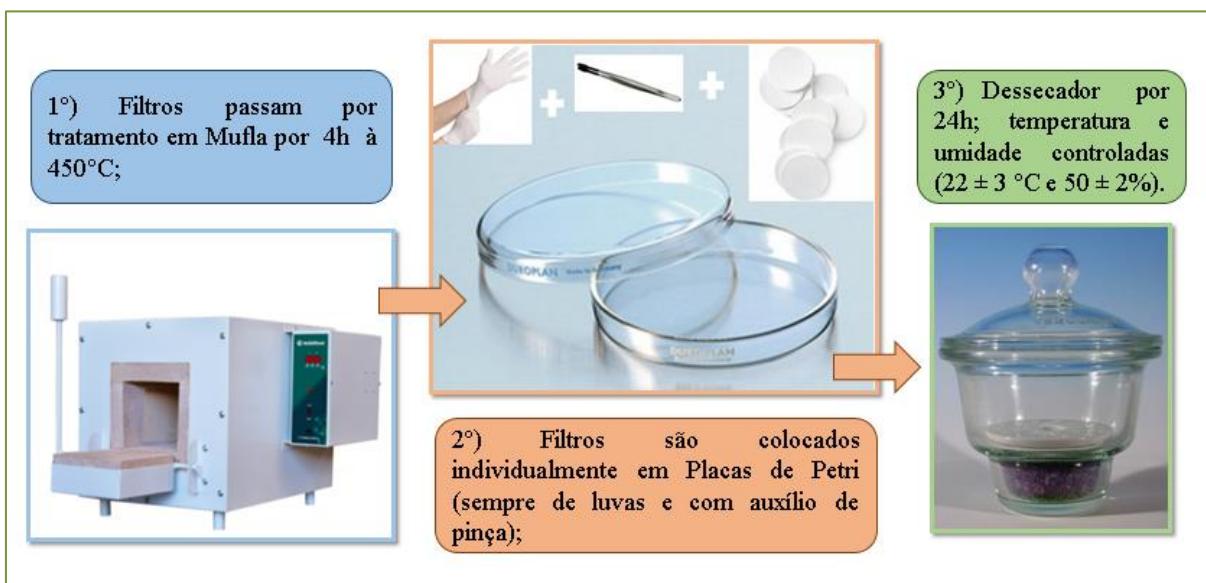


**Fonte:** Própria autora, (2020).

Os filtros de quartzo foram tratados a 450 °C (Biopar-S150ST, Brasil) por 4 h, colocados individualmente em placa de Petri, posteriormente em dessecador contendo sílica por 24 h em sala com temperatura e umidade controladas ( $22 \pm 3$  °C e  $50 \pm 2\%$ , respectivamente). Os filtros foram mantidos na sala climatizada por 24 horas e, em seguida, foram pesados. Juntamente com as amostras, foram selecionados 10% de filtros em branco (NIOSH, 1998).

A Figura 10 ilustra o passo a passo para realização das coletas diárias, tanto no TCUL quanto no MHL.

**Figura 10** – Processo de tratamento dos filtros para realização das amostragens diárias.



Fonte: Própria autora, (2020).

Após a amostragem, os filtros foram armazenados em placas de Petri e transportados para o laboratório em caixa térmica. Os filtros foram novamente mantidos em sala climatizada nas mesmas condições de temperatura e umidade relativa, por 24 horas. Após estabilização, os filtros foram pesados para análise gravimétrica. A massa do MP foi obtida com base na diferença entre a massa do filtro antes e depois de cada coleta usando a balança ultra-analítica (Mettler Toledo, AX26, Suíça) com precisão de  $1,0 \mu\text{g}$  (Figura 11).

**Figura 11** - Balança ultra-analítica (Mettler Toledo, AX26, Suíça) com precisão de 1,0 $\mu$ g.



**Fonte:** Própria autora, (2020).

#### 5.4 DETERMINAÇÃO DE *BLACK CARBON*

A concentração de BC foi determinada através do método de reflectância de luz, utilizando o Reflectômetro (EEL 43D Smoke Stain Diffusion Systems Ltd., Londres, Reino Unido) (DEFRA, 2019) (Figura 12). Para obtenção da porcentagem de reflectância realizada pelo equipamento, primeiramente certificou-se a linearidade da medida de reflectância pelo ajuste “zero” do equipamento; posteriormente, realizou-se o ajuste de “100” (reflectância total medida por um filtro branco colocado no equipamento). Para confirmação da linearidade da medida, foi realizada a leitura de um filtro padrão fornecido com o equipamento, com reflectância obrigatória de  $35 \pm 1\%$  (PIRACELLI, 2015).

**Figura 12** – Reflectômetro (EEL 43D Smoke Stain Diffusion Systems Ltd., Londres, Reino Unido) (DEFRA, 2019).



**Fonte:** Própria autora, (2020).

Posteriormente à realização da ajustagem do equipamento, efetuou-se novamente o ajuste de “100%” do equipamento com os filtros brancos (utilizados em campo), seguido da medida de reflectância das amostras. A medida da reflectância foi adquirida com a média de cinco medidas realizadas no filtro impactado, sendo quatro medidas realizadas nas extremidades de cada filtro e uma na região central (UK AIR, 2015; PIRACELLI, 2015; SILVA JÚNIOR, 2018; MANTOVANI, 2021). A partir dos valores de reflectância obteve-se a quantidade de BC na amostra de acordo com a equação (1) proposta por Hetem (2014):

$$BC = \frac{(0,3724) \times \left( e^{5,52 - \frac{0,51}{\ln(R)} e^{0,84 \ln(R)}} \right) \times (A)}{V} \quad (1)$$

Onde:

BC = Concentração de BC ( $\mu\text{g m}^{-3}$ );

R = Reflectância (%);

A = Área de impactação dos filtros ( $12,6 \text{ cm}^2$ );

V = Volume total de ar amostrado durante a coleta ( $\text{m}^3$ ).

## 5.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Análises estatísticas foram realizadas para os resultados quantitativos das três etapas de estudo (B10 da 1º campanha, B10 da 2º campanha e B11 da 2º campanha). O método utilizado foi o teste *t-student* de comparação de médias. O nível de significância para todas as análises foi de 5% ( $p \leq 0,05$ ).

A partir dos valores de concentração, obteve-se as médias e desvios padrão, bem como o número de amostras. A semelhança estatística entre as campanhas foi calculada de acordo com as equações 2 e 3, propostas por Neto, Scarminio e Bruns (2010):

$$S^2 = \frac{(N_a - 1)S_a^2 + (N_b - 1)S_b^2}{(N_a - 1) + (N_b - 1)} \quad (2)$$

Onde:

$S^2$  = Variância;

$N_a$  = Número de amostras (1 - campanha);

$N_b$  = Número de amostras (2 - da campanha a ser comparada);

$S_a^2$  = Variância da amostra a (desvio);

$S_b^2$  = Variância da amostra b (desvio);

$$(\mu_a - \mu_b) = X_a - X_b \pm t_v S \sqrt{\frac{1}{N_a} + \frac{1}{N_b}} \quad (3)$$

Onde:

$(\mu_a - \mu_b)$  = Intervalo de confiança;

$N_a$  = Número de amostras (1 - campanha);

$N_b$  = Número de amostras (2 - da campanha a ser comparada);

$X_a$  = Média (1 - campanha);

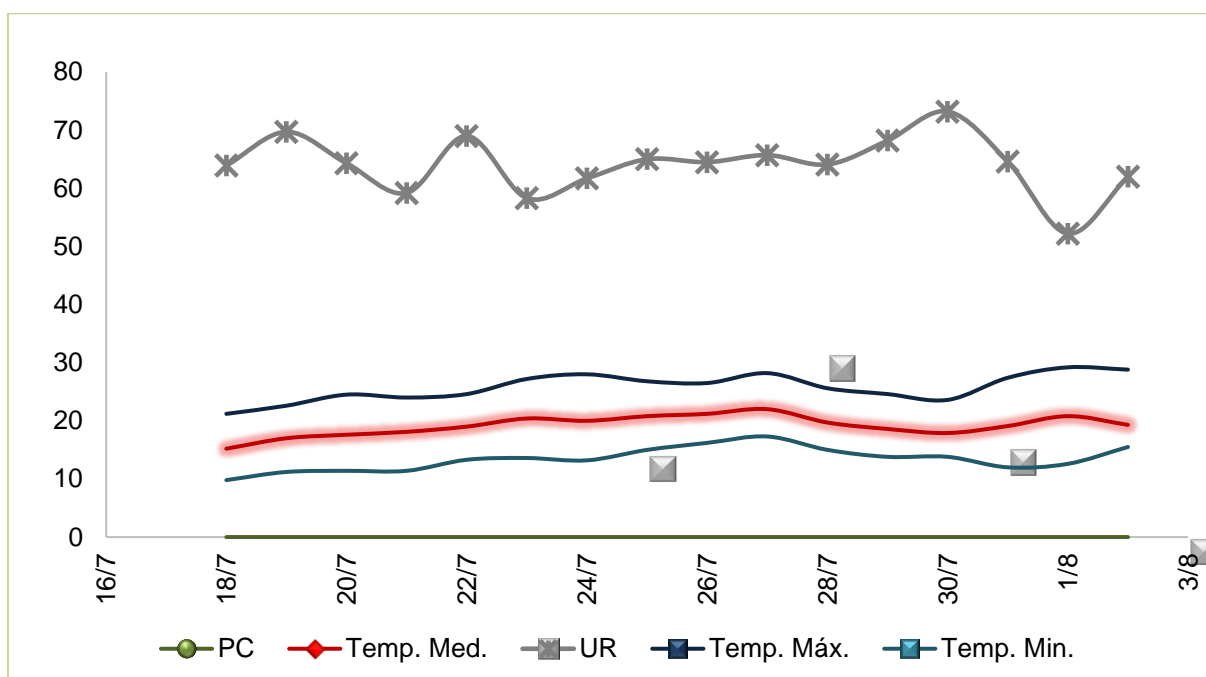
$X_b$  = Média (2 - da campanha a ser comparada);

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 DADOS METEOROLÓGICOS

Na primeira campanha de coletas, compreendida entre os dias 18 de julho a 02 de agosto de 2019, a temperatura em Londrina-PR variou entre 9,8°C (temperatura mínima entre os dias coletados) e 29,2°C (temperatura máxima entre os dias coletados). A temperatura média diária variou entre 15,2°C (mínima) e 22°C (máxima), com média de  $19,2 \pm 1,8^\circ\text{C}$ . A umidade relativa do ar variou entre 73,2 e 52,2% com média de  $64,1 \pm 5\%$ . O Gráfico 11 exibe as variações de temperatura e umidade relativa do ar, durante o período de amostragem, disponibilizadas pelo Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR, 2019).

**Gráfico 11** – Variações de temperatura (máx., méd. e min.), umidade relativa do ar, e precipitação, referentes ao período de amostragem (18/07/2019 a 02/08/2019) realizado no TCUL e MHL em Londrina-PR (1ª campanha).



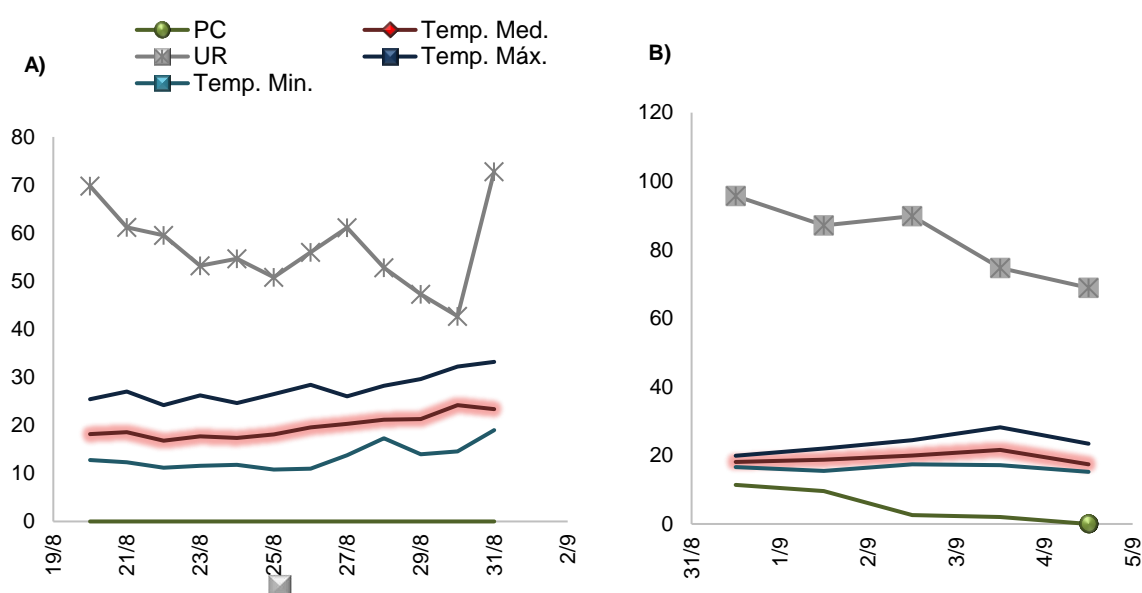
Nota: temp. máx. = temperatura máxima; temp. med = temperatura média; temp. min. = temperatura mínima; UR = umidade relativa do ar e PC = precipitação de chuva.

Fonte: Adaptado de IAPAR, (2019).

Na segunda campanha de amostragem, cumprida entre os dias 20 de agosto a 31 de agosto de 2019 (B10) e de 01 de setembro a 05 de setembro de 2019 (B11),

a temperatura em Londrina-PR variou entre 10,8°C (temperatura mínima entre os dias coletados) e 33,2°C (temperatura máxima entre os dias coletados), com média de 19,7 ± 2,4°C. A umidade relativa do ar variou entre 42,7 e 72,8%, com média de 56,8% ± 8,7%, isto para B10 (Gráfico 12 –A). Para B11 (Gráfico 12 – B), a temperatura média diária variou entre 15,2°C (mínima) e 28,2°C (máxima), com média de 19,2 ± 1,7°C. A umidade relativa do ar variou entre 68,9 e 95,7%, com média de 83,2 ± 11,1%. Os Gráficos 12 A e B exibem as variações de temperatura e umidade relativa do ar, durante o período de amostragem, disponibilizadas pelo Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR, 2019).

**Gráfico 12** – Variações de temperatura (máx., méd. e min.), umidade relativa do ar, e precipitação, referentes ao período de amostragem a) 20/08 a 31/08/2019 (B10) e b) 01/08 a 05/09/2019 (B11) realizado no TCUL e MHL em Londrina-PR (2ª campanha).



Nota: temp. máx. = temperatura máxima; temp. med = temperatura média; temp. min. = temperatura mínima; UR = umidade relativa do ar e PC = precipitação de chuva.

Fonte: Adaptado de IAPAR, 2019.

## 6.2 ANÁLISE GRAVIMÉTRICA DE MP<sub>1,0</sub> E MP<sub>2,5</sub>

Foram coletadas 125 amostras de material particulado fino nas duas campanhas, sendo 62 na primeira campanha (B10) - 30 amostras coletadas no TCUL e 32 amostras coletadas no MHL -, e 63 na segunda (com 43 amostras de B10 e 20

amostras de B11), tratando-se de 22 amostras coletadas no TCUL e 21 amostras coletadas no MHL para B10 e para B11, foram 10 amostras coletadas no TCUL e 10 amostras coletadas no MHL. As medidas gravimétricas foram realizadas, após estabilização dos filtros (temperatura e umidade estáveis); pela diferença de massa do filtro (filtro tratado menos filtro coletado) e volume de ar amostrado, foram calculadas as concentrações ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) de  $\text{MP}_{1,0}$  e  $\text{MP}_{2,5}$ . Os resultados são apresentados nas Tabela 6 (Terminal de Ônibus Urbano Central de Londrina – Ambiente Semifechado) e Tabela 8 (Museu Histórico de Londrina – Ambiente Aberto), relacionando os intervalos de concentração, as médias, os desvios [ $\bar{X} \pm \sigma_n$  (%)] e as razões  $\text{MP}_{1,0}/\text{MP}_{2,5}$ , de acordo com cada campanha (campanha 1 ou 2), local (TCUL ou MHL) e ambiente de coleta (interno TCUL ou externo MHL). De acordo com Pinto et al., (2014), o cálculo das razões entre MP pode ser considerado como a assinatura da fonte emissora da frota veicular.

Com o intuito de avaliar a diferença de concentração (aumento e diminuição de concentração) entre as campanhas realizadas, no decorrer da discussão dos resultados foi utilizada regra de três simples, processo que envolve quatro valores, onde se conhecem três deles e se obtêm o quarto valor. Deve-se, portanto, determinar o quarto valor a partir dos três já conhecidos. Para calcular a diferença percentual, definiu-se o maior valor equivalente a 100% e o menor valor equivalente a “X (valor a ser descoberto)”, portanto, “X” era igual ao menor valor multiplicado por 100 e dividido pelo maior valor; o resultado menos (subtração) 100 era o valor da diferença percentual.

**Tabela 6** – Intervalo de concentração ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ), média  $\pm$  desvio padrão (%) ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) de  $\text{MP}_{1,0}$  e  $\text{MP}_{2,5}$  e razão  $\text{MP}_{1,0}/\text{MP}_{2,5}$  das amostras coletadas no interior do TCUL utilizando misturas biodiesel/diesel (B10 e B11).

Mistura B/D <sup>1</sup>	$\text{MP}_{1,0}$ ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )		$\text{MP}_{2,5}$ ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )		Razão $\text{MP}_{1,0}/\text{MP}_{2,5}$
	Mín. - Máx. <sup>2</sup>	$\bar{X} \pm \sigma_n$ (%) <sup>3</sup>	Mín. - Máx. <sup>2</sup>	$\bar{X} \pm \sigma_n$ (%) <sup>3</sup>	
1° Coleta B10 (2019)	1,9 - 9,5	5,2aaa <sup>4</sup> $\pm$ 2,7 51,9%	1,8 - 18,2	8,8baa <sup>4</sup> $\pm$ 4,2 48,2%	0,59
2° Coleta B10 (2019)	2,3 - 17,3	9,7aaa <sup>4</sup> $\pm$ 5,2 53,8% <sup>3</sup>	6,8 - 19,9	13,8aaa <sup>4</sup> $\pm$ 3,9 28,3%	0,70
2° Coleta B11 (2019)	3,3 - 13,1	7,3aaa <sup>4</sup> $\pm$ 4,0 54,6%	6,8 - 16,8	10,9aaa <sup>4</sup> $\pm$ 4,2 38,4%	0,67

Nota<sup>1</sup>: B/D = Biodiesel/Diesel.

Nota<sup>2</sup>: Min. = Mínimo; Máx. = Máximo.

Nota<sup>3</sup>:  $\bar{X}$  = Média;  $\sigma_n$  = Desvio Padrão; Coeficiente de Variação (%) dada por:  $((\text{Desvio Padrão} * 100) / \text{Média})$ .

Nota<sup>4</sup>: Letras minúsculas representam diferença significativa ( $p < 0,05$ ) pelo teste *t-student*, onde a primeira letra simboliza a comparação estatística de B10 (1° campanha) com B10 (2° campanha) e B11 (2° campanha), a segunda letra simboliza a comparação estatística de B10 (2° campanha) com B10 (1° campanha) e B11 (2° campanha) e a terceira letra, representa B11 (2° campanha) com B10 (1° campanha) e B10 (2° campanha), a letra “a” indica semelhança estatística e a letra “b” representa diferença estatística.

**Fonte:** Própria autora, (2020).

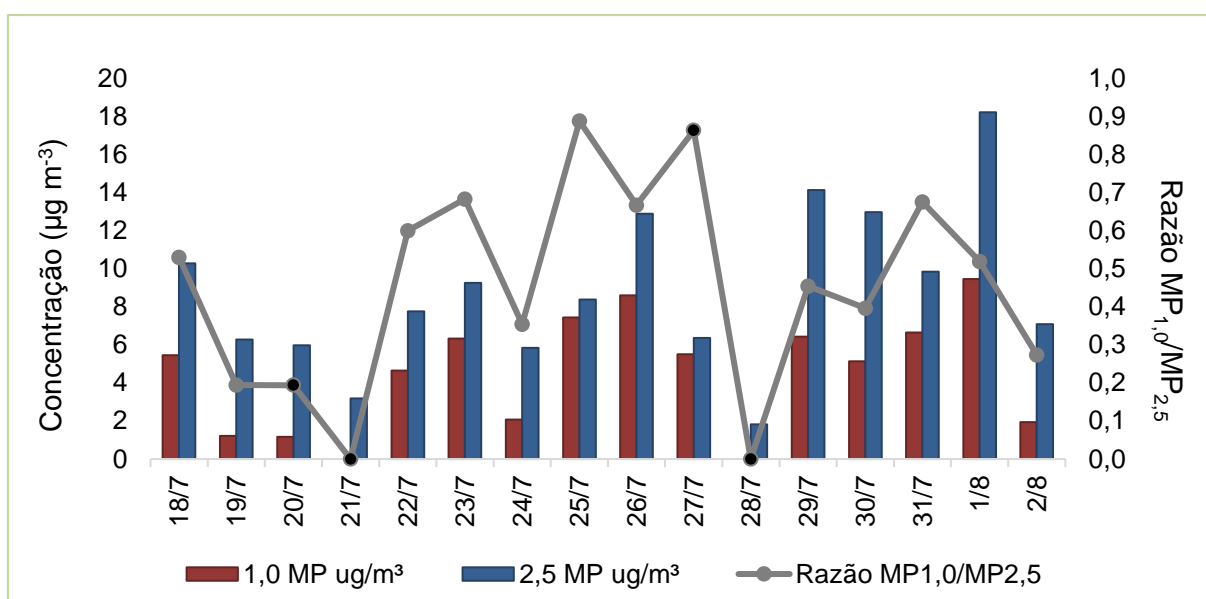
De acordo com a Tabela 6, pode-se observar que houve aumento nos valores máximos de  $\text{MP}_{1,0}$  de cerca de 45% na concentração de MP da campanha 1 para a campanha 2 (9,5 para 17,3  $\mu\text{g m}^{-3}$ ), e com o incremento do biodiesel (B11) houve uma redução na concentração de  $\text{MP}_{1,0}$  de cerca de 24% (17,3 para 13,1  $\mu\text{g m}^{-3}$ ). Já para  $\text{MP}_{2,5}$ , as concentrações máximas não apresentaram variações expressivas com a mudança de B10 para B11. As razões  $\text{MP}_{1,0}/\text{MP}_{2,5}$  apresentaram 0,59 (campanha 1 – B10), 0,70 (campanha 2 – B10) e 0,67 (campanha 2 – B11), respectivamente 59%, 70% e 67%, mostrando aumento na contribuição de  $\text{MP}_{1,0}$  da campanha 1 para a 2, e redução da contribuição de  $\text{MP}_{1,0}$  na troca de B10 para B11.

É possível notar que, tanto para  $\text{MP}_{1,0}$  quanto para  $\text{MP}_{2,5}$ , não houve diferença

significativa ( $p < 0,05$ ) entre as campanhas, exceto na comparação das médias de  $MP_{2,5}$  de B10 (1ª campanha -  $8,8 \mu\text{g m}^{-3}$ ) com B10 (2ª campanha -  $13,8 \mu\text{g m}^{-3}$ ), com aumento de cerca de 36% na concentração média de  $MP_{2,5}$ .

O Gráfico 13 mostra as concentrações diárias de  $MP_{1,0}$  e  $MP_{2,5}$  e as razões  $MP_{1,0}/MP_{2,5}$  da primeira coleta de dados, realizada no TCUL entre os dias 18 de julho de 2019 a 02 de agosto de 2019 (B10).

**Gráfico 13** – Concentração diária de  $MP_{1,0}$  e  $MP_{2,5}$  em  $\mu\text{g m}^{-3}$  no Terminal de Ônibus Urbano Central de Londrina, realizada de 18/07 a 02/08/2019 (combustível B10) (campanha 1).



Nota: Pontos pretos no gráfico representam finais de semana (sábado e domingo).

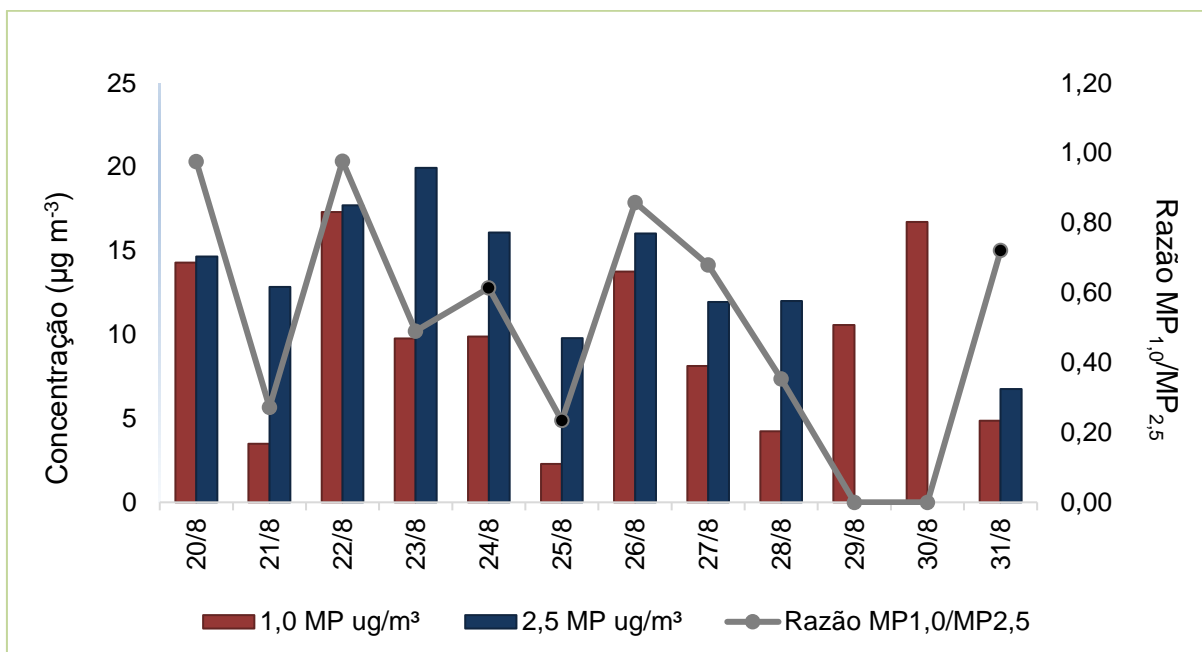
Nota: Dias nos quais houve imprevistos na coleta (tanto para  $MP_{1,0}$  quanto para  $MP_{2,5}$ ), não apresentam razão.

Fonte: Própria autora, (2020).

O Gráfico 13 exibe as variações diárias do  $MP_{1,0}$  e  $MP_{2,5}$  e as razões entre as frações  $MP_{1,0}$  e  $MP_{2,5}$ . As concentrações menores do MP fino elucidam a diminuição dos veículos nos finais de semana. Os dias que não apresentam valor de concentração e razão são dias nos quais houve algum imprevisto na coleta (mangueira solta, ou falta de energia).

O Gráfico 14 mostra as concentrações diárias de  $MP_{1,0}$  e  $MP_{2,5}$  e as razões  $MP_{1,0}/MP_{2,5}$  da segunda coleta de dados, realizada no TCUL entre os dias 20 de agosto de 2019 a 31 de agosto de 2019 (B10).

**Gráfico 14** – Concentração diária de  $MP_{1,0}$  e  $MP_{2,5}$  em  $\mu g m^{-3}$  no Terminal de Ônibus Urbano Central de Londrina, observada de 20/08 a 31/08/2019 (combustível B10) (campanha 2).



Nota: Pontos pretos no gráfico, representam finais de semana (sábado e domingo).

Nota: Dias nos quais houve imprevistos na coleta (tanto para  $MP_{1,0}$  quanto para  $MP_{2,5}$ ) não apresentam razão.

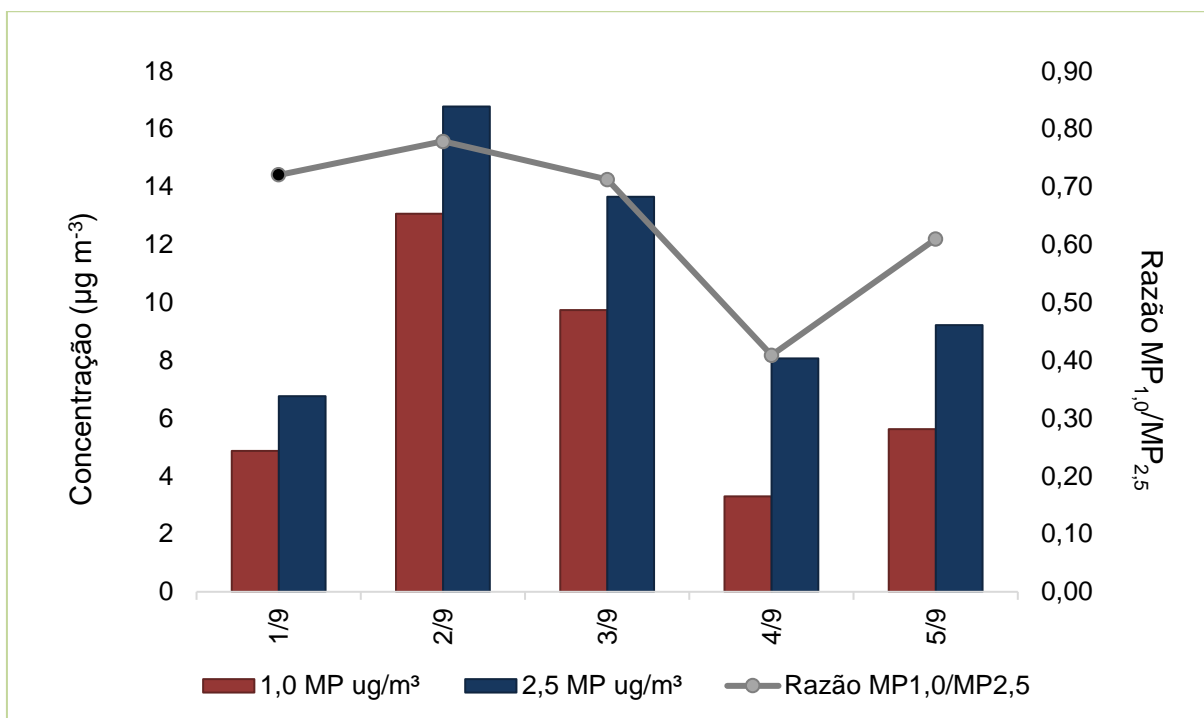
**Fonte:** Própria autora, (2020).

O Gráfico 14 exibe as variações diárias do  $MP_{1,0}$  e  $MP_{2,5}$  e as razões entre as frações  $MP_{1,0}$  e  $MP_{2,5}$ . Em média, o  $MP_{1,0}$  correspondeu a 70% do  $MP_{2,5}$ . As concentrações menores do MP fino elucidam a diminuição dos veículos nos finais de semana, exceto no dia 24/08 (sábado), quando os valores de concentração de  $MP_{1,0}$  e  $MP_{2,5}$  foram semelhantes aos de dias úteis (segunda à sexta). As variações de temperatura e umidade relativa do ar não sofreram alterações significativas que pudessem ser responsáveis por esse comportamento; além disso, nenhum evento ocorreu no local que pudesse alterar as características do ambiente. A única justificativa cabível, neste caso, é de que houve maior emissão neste dia (combustão) por veículos parados com motor ligado ou maior quantidade de ônibus entrando e saindo do TCUL. Os dias que não apresentam valor de concentração de MP são dias nos quais houve algum imprevisto (mangueira solta ou falta de energia).

O Gráfico 15 mostra as concentrações diárias de  $MP_{1,0}$  e  $MP_{2,5}$  e as razões

MP<sub>1,0</sub>/MP<sub>2,5</sub> da segunda coleta de dados, realizada no TCUL entre os dias 1 de setembro de 2019 a 5 de setembro de 2019 (B11).

**Gráfico 15** – Concentração diária de MP<sub>1,0</sub> e MP<sub>2,5</sub> em  $\mu\text{g m}^{-3}$  no Terminal de Ônibus Urbano Central de Londrina, observada de 01/09 a 05/09/2019 (combustível B11) (campanha 2).



Nota: O ponto preto no gráfico representa final de semana (domingo).

Fonte: Própria autora, (2020).

O Gráfico 15 exhibe as variações diárias do MP<sub>1,0</sub> e MP<sub>2,5</sub> e as razões entre as frações MP<sub>1,0</sub> e MP<sub>2,5</sub> de B10 para B11. Em média, o MP<sub>1,0</sub> correspondeu a 67% do MP<sub>2,5</sub>. As concentrações menores do MP fino elucidam a diminuição dos veículos nos finais de semana. A concentração do MP fino aumentou em média 8% com adição de 1% de biodiesel em relação à 1ª campanha (0,59 para 0,67, respectivamente 59% e 67%) e reduziu cerca de 3% em relação à 2ª campanha de coleta de dados (0,70 para 0,67, respectivamente 70% e 67%). Este resultado deve ser ressaltado considerando as recomendações da Organização Mundial da Saúde (OMS) quanto à exposição de pessoas ao material particulado fino, sendo este valor de  $10 \mu\text{g m}^{-3}$  (média anual) e  $25 \mu\text{g m}^{-3}$  (média em 24 horas) (WHO, 2005).

A fim de verificar variâncias no decorrer dos anos, foram comparadas as medidas de concentração de MP<sub>1,0</sub> e MP<sub>2,5</sub> realizadas neste trabalho (B10 e B11),

com medidas realizados no mesmo local (TCUL) com o uso de misturas B3, B5, B6, B7 e B8 biodiesel/diesel, realizadas nos anos de 2014, 2016 e 2017, e medidas realizadas posteriormente a este trabalho também no mesmo local, com o uso da mistura B12, no ano de 2020 (Tabela 7).

**Tabela 7** – Faixa de concentração  $MP_{1,0}$  e  $MP_{2,5}$  e relação  $MP_{1,0}/MP_{2,5}$  no interior do TCUL, com o uso das misturas B3, B5, B6, B7, B8, B10, B11 e B12 biodiesel/diesel.

B/D <sup>1</sup>	Nº de Amostras	$MP_{1,0}$	$MP_{2,5}$	Razão $MP_{1,0} / MP_{2,5}$	Referência
		( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) Mín. - Máx. <sup>2</sup>	( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) Mín. - Máx. <sup>2</sup>		
B3	24	20,6 - 42,7	24,8 - 48,2	0,84	Martins et. al.; (2011).
B5	16	12,8 - 26,7	15,2 - 33,4	0,82	Silva Júnior et. al.; (2019).
B6	12	17,0 – 31,6	21,2 - 37,4	0,81	Silva Júnior et. al.; (2019).
B7	30	6,7 - 21,1	12,1 - 35,5	0,77	Silva Júnior et. al.; (2019).
B7	60	16,0 - 39,6	22,1 - 47,6	0,83	Silva Júnior et. al.; (2019).
B8	26	12,2 - 30,9	15,7 - 32,7	0,90	Silva Júnior et. al.; (2019).
B10	30	1,9 - 9,5	1,8 - 18,2	0,59	Própria Autora, (2021).
B10	22	2,3 - 17,3	6,8 - 19,9	0,70	Própria Autora, (2021).
B11	10	3,3 - 13,1	6,8 - 16,8	0,67	Própria Autora, (2021).
B12d <sup>3</sup>	20	5,0 – 18,6	10,8 - 21,3	0,82	Mantovani, (2021).
B12p <sup>4</sup>	21	9,2 – 21,7	11,3 – 33,9	0,83	Mantovani, (2021).

Nota<sup>1</sup>: B/D = Biodiesel/Diesel.

Nota<sup>2</sup>: Min. = Mínimo; Máx. = Máximo.

Nota<sup>3</sup>: B12d = Uso da mistura biodiesel/diesel B12, durante o período de quarentena (02 de abril a 11 de abril de 2020).

Nota<sup>4</sup>: B12p = Uso da mistura biodiesel/diesel B12 posterior à reabertura das atividades comerciais e industriais (12 de abril a 24 de abril de 2020).

**Fonte:** Própria autora, (2021).

De acordo com a Tabela 7, é possível concluir que, ao longo dos anos com o aumento de biodiesel no diesel, os valores médios das concentrações de  $MP_{2,5}$  para as campanhas realizadas no TCUL obtiveram uma diminuição, seguidos de um aumento. Quando comparado os valores máximos de B3 com B8 ( $48,2 \mu\text{g m}^{-3}$  para  $32,7 \mu\text{g m}^{-3}$ ), houve uma redução de 32%; quando comparado B3 com B11 ( $48,2 \mu\text{g m}^{-3}$  para  $16,8 \mu\text{g m}^{-3}$ ), a redução chega a cerca de 65%; avaliando B3 com B12d ( $48,2 \mu\text{g m}^{-3}$  para  $21,3 \mu\text{g m}^{-3}$ ), a redução é de 56% (durante o período de quarentena), e B3 com B12p ( $48,2 \mu\text{g m}^{-3}$  para  $33,9 \mu\text{g m}^{-3}$ ), a redução é de apenas 30% (posterior ao período de quarentena), ou seja, de B11 para B12d (durante o período de quarentena), houve um aumento de cerca de 21%, e de B11 para B12p (com a reabertura das atividades industriais e comerciais), o aumento chegou a 50% nas concentrações de  $MP_{1,0}$  e  $MP_{2,5}$ , para as campanhas realizadas no TCUL. Observa-se ainda que, entre os períodos de amostragem, a porcentagem de  $MP_{1,0}$  em relação ao  $MP_{2,5}$  esteve entre 59 e 90%, demonstrando que a fração de  $MP_{1,0}$  representa a maior parte do  $MP_{2,5}$ .

Em 11 de março de 2020, iniciou-se o surto de COVID-19, sendo decretada pela OMS (Organização Mundial da Saúde) pandemia mundial. A fim de minimizar a propagação da doença, medidas sanitárias e de restrição à mobilidade por autoridades governamentais foram implantadas no mundo inteiro. No Paraná, em 23 de março, iniciou-se o fechamento dos estabelecimentos comerciais, e no dia 27 de março, fecharam-se as indústrias, mantendo em funcionamento apenas serviços essenciais. Mantovani, (2021) elucida que realizou análises de  $MP_{1,0}$  e  $MP_{2,5}$  para B12 no TCUL, com parte de suas amostragens em meio ao período de quarentena (02 de abril a 11 de abril de 2020) e parte posterior à reabertura das atividades comerciais e industriais (12 de abril a 24 de abril de 2020). Essas análises apresentam uma variação média de concentração de  $13,4 \mu\text{g m}^{-3}$  para  $MP_{1,0}$  e  $17,4 \mu\text{g m}^{-3}$  para  $MP_{2,5}$ , ou seja, considerando as médias das concentrações do MP fino no período de quarentena, verifica-se que os níveis de concentração não ultrapassaram os valores recomendados pela OMS de  $25 \mu\text{g m}^{-3}$  em 24 horas; valores superiores aparecem

após o período de reabertura do setor industrial (12/04/20), mais especificamente nos dias 16/04/20 (concentração de  $25,8 \mu\text{g m}^{-3}$  –  $\text{MP}_{2,5}$ ) e 25/04/20 (concentração de  $33,9 \mu\text{g m}^{-3}$  –  $\text{MP}_{2,5}$ ). Vale ressaltar que a poluição atmosférica foi associada à transmissão e gravidade da COVID-19, observando que regiões com maiores concentrações de  $\text{MP}_{1,0}$  e  $\text{MP}_{2,5}$  foram mais afetadas pela doença viral que causa síndrome respiratória aguda (DOMINGO; ROVIRA, 2020); nessas regiões o MP pode operar como transportador de vírus, o que permite maior difusão e permanência no ar, além de alterar a imunidade do hospedeiro e contribuir para infecções virais respiratórias (MANTOVANI, 2021).

Para comparação do valor de concentração de MP fino encontrado no TCUL, entre diferentes fontes de emissão, medidas de  $\text{MP}_{1,0}$  e  $\text{MP}_{2,5}$  foram realizadas no Museu Histórico de Londrina, PR. A Tabela 8 elucida os dados coletados no MHL, relacionando os intervalos de concentração, as médias, os desvios [ $\bar{X} \pm \sigma_n$  (%)] e as razões  $\text{MP}_{1,0}/\text{MP}_{2,5}$ , de acordo com cada campanha (campanha 1 ou 2).

**Tabela 8** – Intervalo de concentração ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ), média  $\pm$  desvio padrão (%) ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) de  $\text{MP}_{1,0}$  e  $\text{MP}_{2,5}$  e razão  $\text{MP}_{1,0}/\text{MP}_{2,5}$  das amostras coletadas no pátio do MHL utilizando misturas biodiesel/diesel (B10 e B11).

Mistura B/D <sup>1</sup>	$\text{MP}_{1,0}$ ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )		$\text{MP}_{2,5}$ ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )		Razão $\text{MP}_{1,0}/\text{MP}_{2,5}$
	Mín. - Máx. <sup>2</sup>	$\bar{X} \pm \sigma_n$ (%) <sup>3</sup>	Mín. - Máx. <sup>2</sup>	$\bar{X} \pm \sigma_n$ (%) <sup>3</sup>	
1° Coleta	0,3 - 9,0	3,0aaa <sup>4</sup> $\pm$ 2,6	0,7 - 18,8	7,4aaa <sup>4</sup> $\pm$ 4,7	0,41
B10 (2019)		86,8%		63,2%	
2° Coleta	1,3 - 10,2	3,9aaa <sup>4</sup> $\pm$ 3,0	2,0 - 13,0	6,7aaa <sup>4</sup> $\pm$ 3,1	0,59
B10 (2019)		76,6%		45,9%	
2° Coleta	1,3 - 5,3	3,0aaa <sup>4</sup> $\pm$ 1,5	3,4 - 11,4	7,0aaa <sup>4</sup> $\pm$ 3,3	0,43
B11 (2019)		51,1 %		47,1%	

Nota<sup>1</sup>: B/D = Biodiesel/Diesel.

Nota<sup>2</sup>: Min. = Mínimo; Máx. = Máximo.

Nota<sup>3</sup>:  $\bar{X}$  = Média;  $\sigma_n$  = Desvio Padrão; Coeficiente de Variação (%) dada por: ((Desvio Padrão \* 100) / Média).

Nota<sup>4</sup>: Letras minúsculas representam diferença significativa ( $p < 0,05$ ) pelo teste *t-student*, onde a primeira letra simboliza a comparação estatística de B10 (1° campanha) com B10 (2° campanha) e B11

(2º campanha), a segunda letra simboliza a comparação estatística de B10 (2º campanha) com B10 (1º campanha) e B11 (2º campanha) e a terceira letra, representa B11 (2º campanha) com B10 (1º campanha) e B10 (2º campanha), a letra “a” indica semelhança estatística e a letra “b” representa diferença estatística.

**Fonte:** Própria autora, (2020).

Analisando a Tabela 8, é possível afirmar que tanto para  $MP_{1,0}$  quanto para  $MP_{2,5}$  não houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre as campanhas.

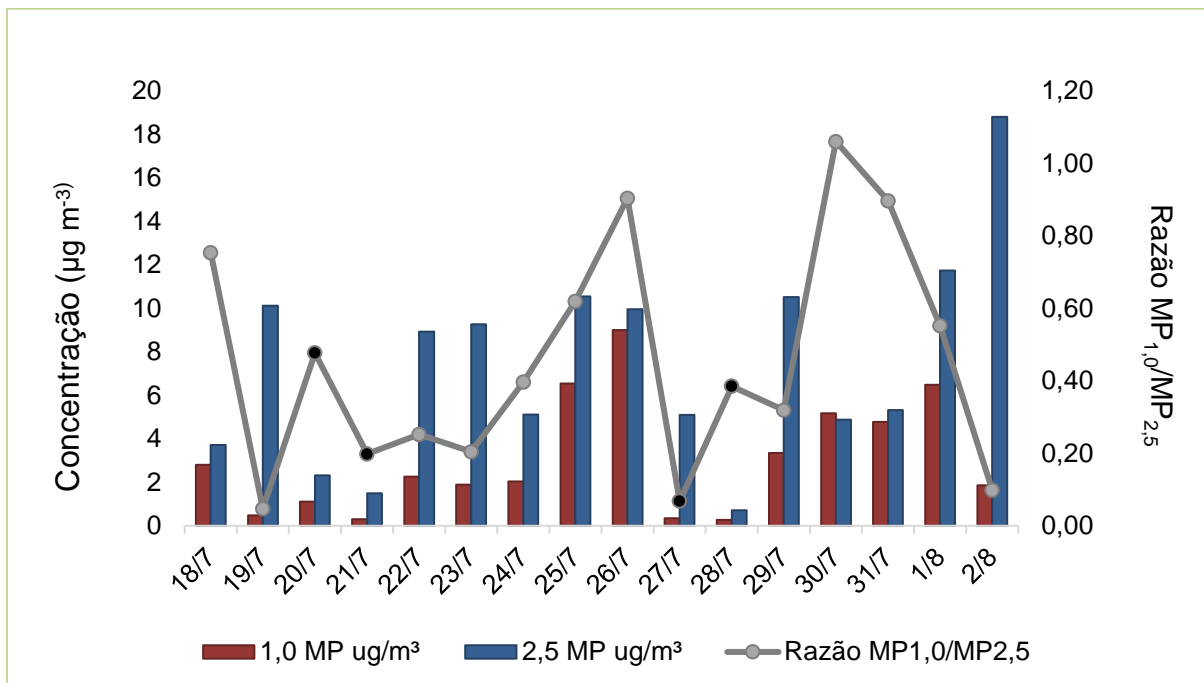
Quando comparadas a Tabela 6 (TCUL) e Tabela 8 (MHL), pode-se concluir que o TCUL pode ter influenciado as concentrações de MP existentes no MHL (emissões nas rondozas), pois o MHL está localizado a cerca de 114m do TCUL. Na campanha 1 (B10), avaliando as concentrações máximas de  $MP_{2,5}$ , sua concentração foi  $18,2 \mu\text{g m}^{-3}$  (TCUL) e  $18,8 \mu\text{g m}^{-3}$  (MHL), diferença equivalente a 3%; na campanha 2 para B10, a concentração foi de  $19,9 \mu\text{g m}^{-3}$  (TCUL) e  $13,0 \mu\text{g m}^{-3}$  (MHL), diferença de 35%, e para B11, a concentração foi de  $16,8 \mu\text{g m}^{-3}$  (TCUL) e  $11,4 \mu\text{g m}^{-3}$  (MHL), divergindo 32%. Vale ressaltar que as fontes emissoras nas rondozas do MHL (ambiente aberto) são variadas, incluindo, por exemplo, veículos leves abastecidos com gasolina e etanol, ou seja, a quantidade de veículos que passam nas vias é superior ao número de veículos que circulam no piso térreo do TCUL (ambiente semifechado).

Mantovani, (2021) relata que, assim como neste trabalho, realizou análises de  $MP_{1,0}$  e  $MP_{2,5}$  para B12 no MHL, a fim de verificar influências do TCUL em sua redondeza. As análises, foram conduzidas parte em meio ao período de quarentena (02 de abril a 11 de abril de 2020) e parte posteriormente à reabertura das atividades comerciais e industriais (12 de abril a 24 de abril de 2020), apresentam variação média da concentração do  $MP_{1,0}$  de  $16,0 \mu\text{g m}^{-3}$  e  $MP_{2,5}$  de  $18,3 \mu\text{g m}^{-3}$ ; considerando as médias das concentrações do MP fino no período de quarentena, verifica-se que os níveis de concentração não ultrapassaram os valores recomendados pela OMS de  $25 \mu\text{g m}^{-3}$  em 24 horas; valores superiores aparecem após o período de reabertura do setor industrial (12/04/20), mais especificamente nos dias 21/04/20 (com concentração de  $34,4 \mu\text{g m}^{-3}$  para  $MP_{1,0}$  e  $48,3 \mu\text{g m}^{-3}$  para  $MP_{2,5}$ ), 23/04/20 (com concentração de  $28,1 \mu\text{g m}^{-3}$  para  $MP_{1,0}$ ), e 24/04/20 (com concentração de  $28,8 \mu\text{g m}^{-3}$  para  $MP_{2,5}$ ).

O Gráfico 16 mostra as concentrações diárias de  $MP_{1,0}$  e  $MP_{2,5}$  e as razões  $MP_{1,0}/MP_{2,5}$  da primeira coleta de dados, realizada no MHL entre os dias 18 de julho

de 2019 a 02 de agosto de 2019 (B10).

**Gráfico 16** – Concentração diária de  $MP_{1,0}$  e  $MP_{2,5}$  em  $\mu g m^{-3}$  no Museu Histórico de Londrina, observada de 18/07 a 02/08/2019 (combustível B10) (campanha 1).



Nota: Pontos pretos no gráfico representam finais de semana (sábado e domingo).

Fonte: Própria autora, (2020).

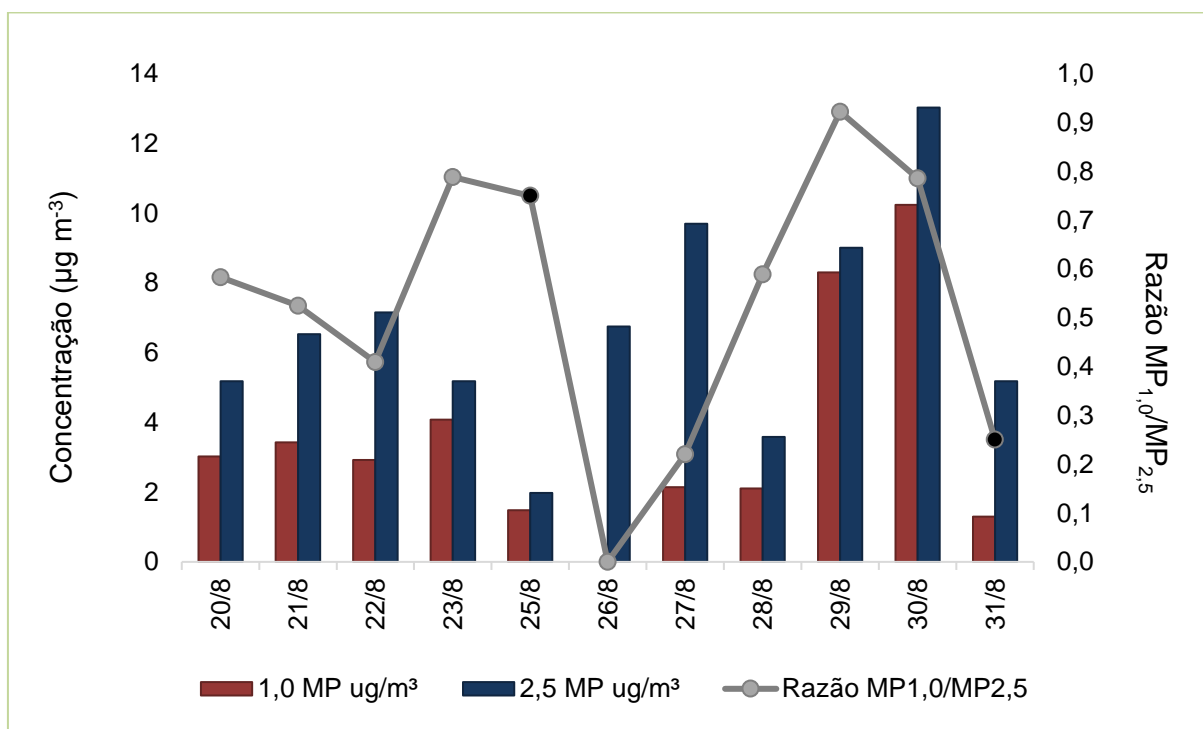
O Gráfico 16 exibe as variações diárias do  $MP_{1,0}$  e  $MP_{2,5}$  e as razões entre as frações  $MP_{1,0}$  e  $MP_{2,5}$ .

De acordo com as concentrações apresentadas nos gráficos 13 e 16, pode-se observar que a concentração de  $MP_{2,5}$  no ambiente externo (MHL) no dia 02 de agosto de 2019 ( $18,8 \mu g m^{-3}$ ) foi superior aos demais dias de coleta, sendo superior até mesmo à concentração observada no mesmo dia em ambiente interno (TCUL) ( $7,1 \mu g m^{-3}$ ), esta diferença de concentração pode ter sido devido ao corredor de fumaça proveniente das queimadas na Amazônia que desceu pela América do Sul, atingindo o Centro Oeste, o Sudeste e o Sul do Brasil e países vizinhos como a Argentina, Uruguai, Peru e Bolívia. De acordo com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), o fenômeno costuma ocorrer entre os meses de agosto e setembro, por efeito da temporada de seca (INPE, 2019). O Instituto afirma ainda que, no ano de 2019, a fumaça dos incêndios que atravessou o Paraná e Mato Grosso do Sul, nos primeiros dias de agosto e atingiu São Paulo e Minas Gerais, chegou a escurecer o

céu destas regiões (INPE, 2019; MARCHAO, 2019; RESENDE, 2019).

O Gráfico 17 mostra as concentrações diárias de  $MP_{1,0}$  e  $MP_{2,5}$  e as razões  $MP_{1,0}/MP_{2,5}$  da segunda coleta de dados, realizada no MHL entre os dias 20 de agosto de 2019 a 31 de agosto de 2019 (B10).

**Gráfico 17** – Concentração diária de  $MP_{1,0}$  e  $MP_{2,5}$  em  $\mu\text{g m}^{-3}$  no Museu Histórico de Londrina, observada de 20/08 a 31/08/2019 (combustível B10) (campanha 2).



Nota: Pontos pretos no gráfico representam finais de semana (sábado e domingo).

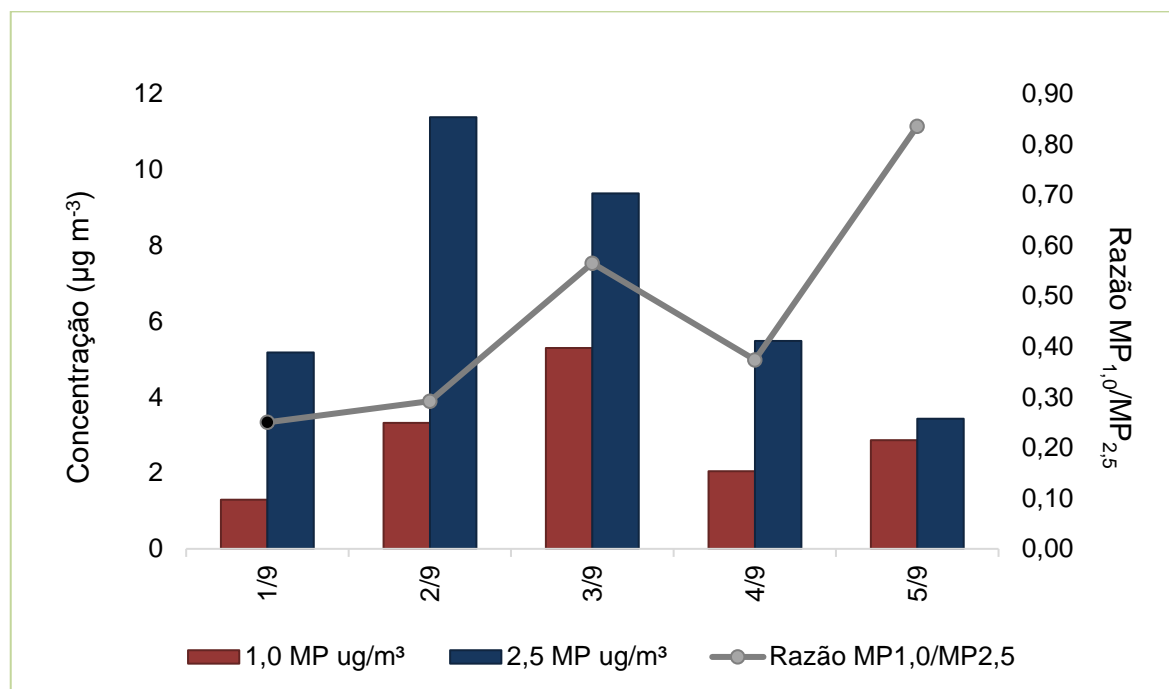
Nota: Dias nos quais houve imprevistos na coleta (tanto para  $MP_{1,0}$  quanto para  $MP_{2,5}$ ), apresentam possui razão.

**Fonte:** Própria autora, (2020).

O Gráfico 17 exhibe as variações diárias do  $MP_{1,0}$  e  $MP_{2,5}$  e as razões entre as frações  $MP_{1,0}$  e  $MP_{2,5}$ . As concentrações menores do MP fino elucidam a diminuição dos veículos nos finais de semana. Os dias que não apresentam valor de concentração e razão são dias nos quais houve algum imprevisto (mangueira solta ou falta de energia).

O Gráfico 18 mostra as concentrações diárias de  $MP_{1,0}$  e  $MP_{2,5}$  e as razões  $MP_{1,0}/MP_{2,5}$  da segunda coleta de dados, realizada no MHL entre os dias 1 de setembro de 2019 a 5 de setembro de 2019 (B11).

**Gráfico 18** – Concentração diária de  $MP_{1,0}$  e  $MP_{2,5}$  em  $\mu g m^{-3}$  no Museu Histórico de Londrina, observada de 01/09 a 05/09/2019 (combustível B11) (campanha 2).



Nota: O ponto preto no gráfico representa final de semana (domingo).

Fonte: Própria autora, (2020).

O Gráfico 18 exibe as variações diárias do  $MP_{1,0}$  e  $MP_{2,5}$  e as razões entre as frações  $MP_{1,0}$  e  $MP_{2,5}$ . As concentrações menores do MP fino elucidam a diminuição dos veículos nos finais de semana.

### 6.3 DETERMINAÇÃO DE *BLACK CARBON*

A intitulação  $BC_{1,0}$  corresponde aos resultados de BC determinados nas amostragens (filtros impactados) com  $MP_{1,0}$  e  $BC_{2,5}$  corresponde aos resultados de BC analisadas nos filtros de  $MP_{2,5}$  (SILVA JÚNIOR, 2018).

Na Tabela 9 estão expressos os resultados de BC (concentrações de  $BC_{1,0}$  e  $BC_{2,5}$  em  $\mu g m^{-3}$ ), os valores médios  $\pm$  desvio padrão (%) e a razão  $BC_{1,0}/BC_{2,5}$ , coletados no TCUL, campanha (1<sup>o</sup> ou 2<sup>o</sup>), de acordo com o combustível utilizado (B10 ou B11).

**Tabela 9** - Intervalo de concentração ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ), média  $\pm$  desvio padrão (%) ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) de  $\text{BC}_{1,0}$ ,  $\text{BC}_{2,5}$  e razão  $\text{BC}_{1,0}/\text{BC}_{2,5}$  das amostras coletadas no Terminal de Ônibus Urbano Central de Londrina utilizando misturas biodiesel/diesel (B10 e B11).

Mistura B/D <sup>1</sup>	$\text{BC}_{1,0}$ ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )		$\text{BC}_{2,5}$ ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )		Razão $\text{BC}_{1,0}/\text{BC}_{2,5}$
	Mín. - Máx. <sup>2</sup>	$\bar{X} \pm \sigma_n$ (%) <sup>3</sup>	Mín. - Máx. <sup>2</sup>	$\bar{X} \pm \sigma_n$ (%) <sup>3</sup>	
1° Coleta B10 (2019)	1,1 - 4,1	2,7aaa <sup>4</sup> $\pm$ 1,11 40,5%	1,2 - 4,2	3,0aaa <sup>4</sup> $\pm$ 1,1 37,1%	0,92
2° Coleta B10 (2019)	0,9 - 6,8	2,8aaa <sup>4</sup> $\pm$ 1,6 56,3%	1,0 - 7,0	2,9aaa <sup>4</sup> $\pm$ 1,6 57,4%	0,96
2° Coleta B11 (2019)	1,3 - 3,1	2,1aaa <sup>4</sup> $\pm$ 0,9 40,4%	1,3 - 3,2	2,2aaa <sup>4</sup> $\pm$ 0,9 40,0%	0,96

Nota<sup>1</sup>: B/D = Biodiesel/Diesel.

Nota<sup>2</sup>: Min. = Mínimo; Máx. = Máximo.

Nota<sup>3</sup>:  $\bar{X}$  = Média;  $\sigma_n$  = Desvio Padrão; Coeficiente de Variação (%) dada por: ((Desvio Padrão \* 100) / Média).

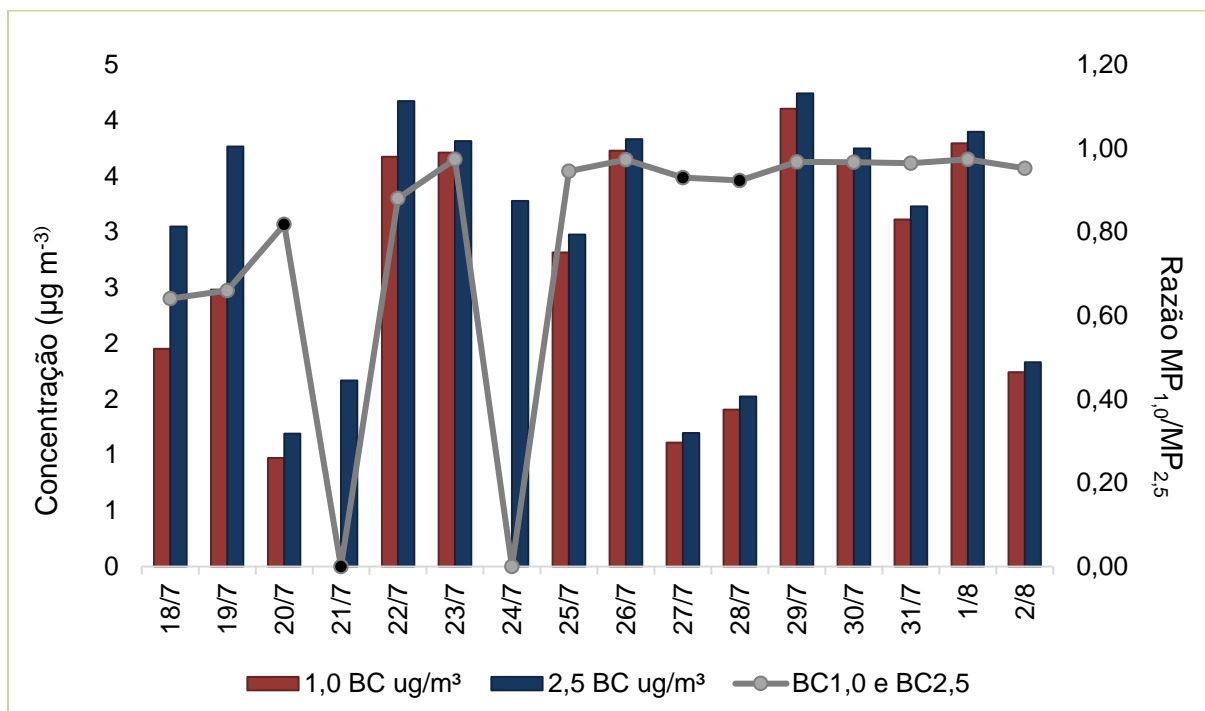
Nota<sup>4</sup>: Letras minúsculas representam diferença significativa ( $p < 0,05$ ) pelo teste *t-student*, onde a primeira letra simboliza a comparação estatística de B10 (1° campanha) com B10 (2° campanha) e B11 (2° campanha), a segunda letra simboliza a comparação estatística de B10 (2° campanha) com B10 (1° campanha) e B11 (2° campanha) e a terceira letra, representa B11 (2° campanha) com B10 (1° campanha) e B10 (2° campanha), a letra "a" indica semelhança estatística e a letra "b" representa diferença estatística.

**Fonte:** Própria autora, (2020).

De acordo com a Tabela 9, pode-se inferir que BC predominou a fração  $\text{BC}_{1,0}$ , com razão  $\text{BC}_{1,0}/\text{BC}_{2,5}$  variando de 0,92 a 0,96, respectivamente 92% e 96%. Avaliando os valores máximos de  $\text{BC}_{2,5}$ , na 2° coleta B10 se sobressaiu, quando comparada a B10 da 1° campanha (de  $4,2 \mu\text{g m}^{-3}$  para  $7,0 \mu\text{g m}^{-3}$ ) observa-se aumento de cerca de 40%; confrontando-se com B11 da 2° campanha (de  $7,0 \mu\text{g m}^{-3}$  para  $3,2 \mu\text{g m}^{-3}$ ), houve redução de cerca de 56%. É possível constatar que, tanto para  $\text{BC}_{1,0}$  quanto para  $\text{BC}_{2,5}$ , não houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre as campanhas.

O Gráfico 19 mostra as concentrações diárias de  $BC_{1,0}$  e  $BC_{2,5}$  e as razões  $BC_{1,0}/BC_{2,5}$  da primeira coleta de dados realizada no TCUL entre os dias 18 de julho de 2019 a 02 de agosto de 2019 (B10).

**Gráfico 19** – Concentração diária de *black carbon* ( $BC_{1,0}$  e  $BC_{2,5}$  em  $\mu\text{g m}^{-3}$ ) e razão  $BC_{1,0}/BC_{2,5}$  no Terminal de Ônibus Urbano Central de Londrina, observada de 18/07 a 02/08/2019 (combustível B10) (campanha 1).



Nota: Pontos pretos no gráfico representam finais de semana (sábado e domingo).

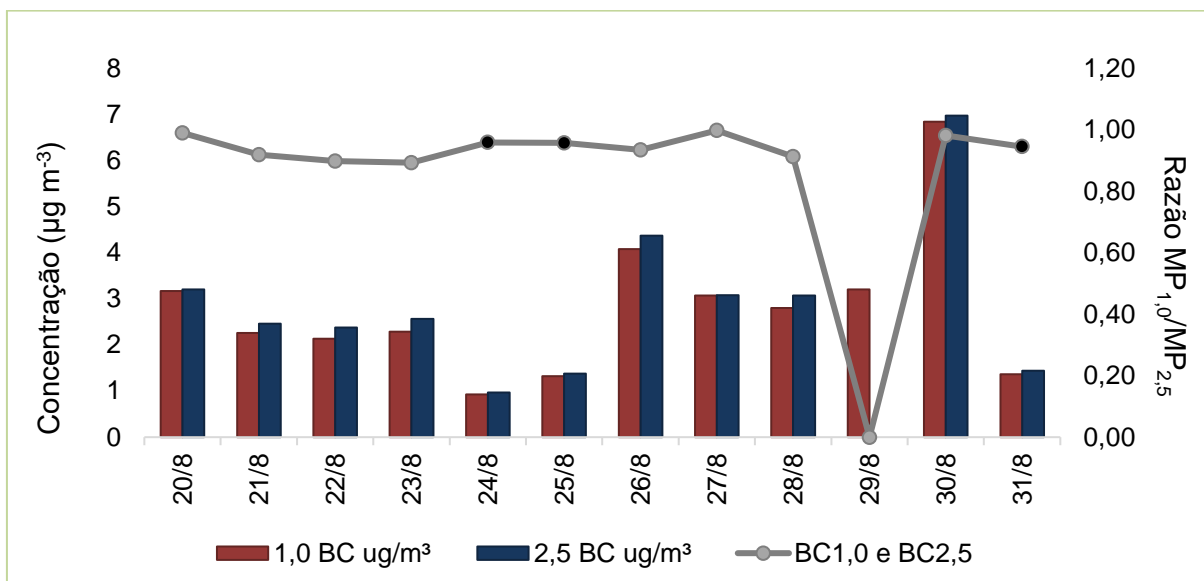
Nota: Dias nos quais houve imprevistos na coleta (tanto para  $MP_{1,0}$  quanto para  $MP_{2,5}$ ), não apresentam razão.

Fonte: Própria autora, (2020).

O Gráfico 19 exibe as variações diárias do  $BC_{1,0}$ ,  $BC_{2,5}$  e as razões entre as frações  $BC_{1,0}/BC_{2,5}$  (campanha 1) (B10). Os dias que não apresentam valor de concentração de BC são dias nos quais houve algum imprevisto na coleta de MP, como, mangueira solta ou falta de energia.  $BC_{1,0}$  variou entre 1,1 e 4,1  $\mu\text{g m}^{-3}$  e  $BC_{2,5}$  oscilou entre 1,2 e 4,2  $\mu\text{g m}^{-3}$ . Nos finais de semana, a frota circulante de veículos diminui, motivo da redução das concentrações de BC.

O Gráfico 20 mostra as concentrações diárias de  $BC_{1,0}$ ,  $BC_{2,5}$  e as razões  $BC_{1,0}/BC_{2,5}$  da segunda coleta de dados, realizada no TCUL entre os dias 20 de agosto de 2019 a 31 de agosto de 2019 (B10).

**Gráfico 20** – Concentração diária de *black carbon* (BC<sub>1,0</sub> e BC<sub>2,5</sub> em  $\mu\text{g m}^{-3}$ ) e razão BC<sub>1,0</sub>/BC<sub>2,5</sub> no Terminal de Ônibus Urbano Central de Londrina, observada de 20/08 a 31/08/2019 (combustível B10) (campanha 2).



Nota: Pontos pretos no gráfico representam finais de semana (sábado e domingo).

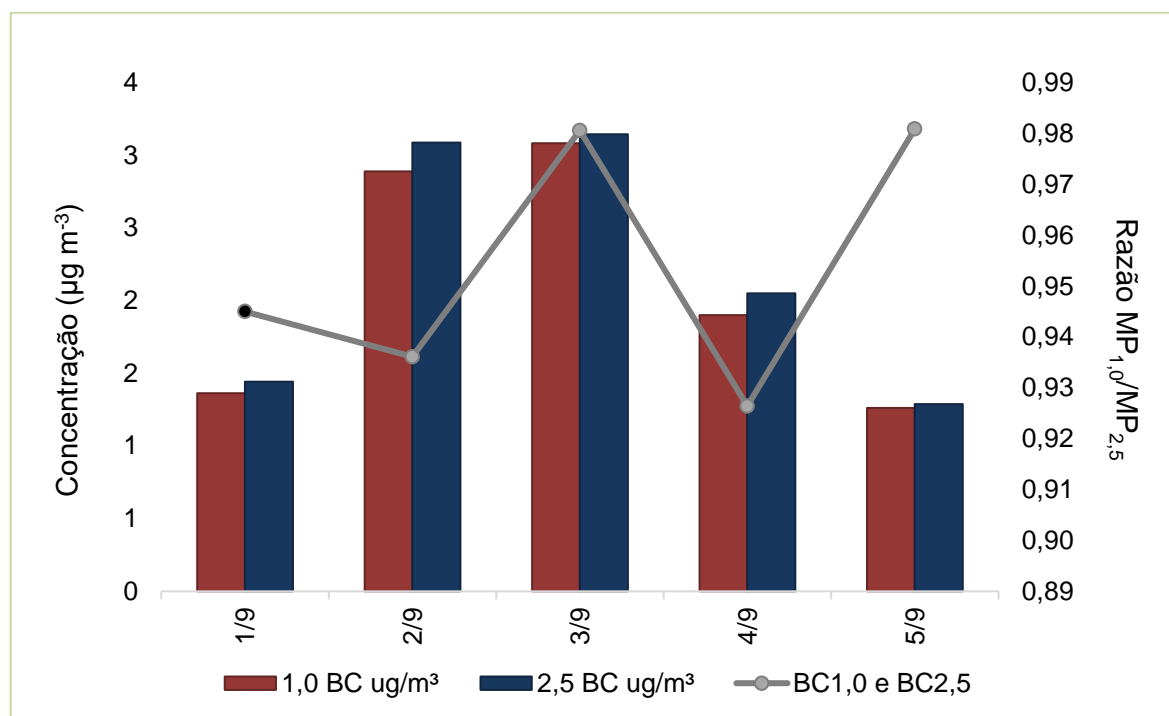
Nota: Dias nos quais houve emprestos na coleta (tanto para MP<sub>1,0</sub> quanto para MP<sub>2,5</sub>), não apresentam razão.

**Fonte:** Própria autora, (2020).

O Gráfico 20 exibe as variações diárias do BC<sub>1,0</sub>, BC<sub>2,5</sub> e as razões entre as frações BC<sub>1,0</sub>/BC<sub>2,5</sub> (campanha 2) (B10). Os dias que não apresentam valor de concentração de BC, são dias nos quais houve algum imprevisto na coleta de MP, como, mangueira solta ou falta de energia. BC<sub>1,0</sub> variou entre 0,9 e 6,8  $\mu\text{g m}^{-3}$ , com média de  $2,8 \pm 1,7 \mu\text{g m}^{-3}$ , e BC<sub>2,5</sub> oscilou entre 1,0 e 7,0  $\mu\text{g m}^{-3}$ , com média de  $2,9 \pm 1,6 \mu\text{g m}^{-3}$ . Nos finais de semana, a frota circulante de veículos diminui, motivo da redução das concentrações de BC.

O Gráfico 21 mostra as concentrações diárias de BC<sub>1,0</sub>, BC<sub>2,5</sub> e as razões BC<sub>1,0</sub>/BC<sub>2,5</sub> da segunda coleta de dados, realizada no TCUL entre os dias 1 de setembro de 2019 a 5 de setembro de 2019 (B11).

**Gráfico 21** – Concentração diária de *black carbon* ( $BC_{1,0}$  e  $BC_{2,5}$  em  $\mu\text{g m}^{-3}$ ) e razão  $BC_{1,0}/BC_{2,5}$  no Terminal de Ônibus Urbano Central de Londrina, observada de 01/09 a 05/09/2019 (combustível B11) (campanha 2).



Nota: O ponto preto no gráfico representa um dia do final de semana (domingo).

Fonte: Própria autora, (2020).

O Gráfico 21 exibe as variações diárias do  $BC_{1,0}$  e  $BC_{2,5}$  e as razões entre as frações  $BC_{1,0}/BC_{2,5}$  (campanha 2) (B11).  $BC_{1,0}$  variou entre 1,3 e 3,2  $\mu\text{g m}^{-3}$ , com média de  $2,1 \pm 0,9 \mu\text{g m}^{-3}$ , e  $BC_{2,5}$  oscilou entre 1,3 e 3,2  $\mu\text{g m}^{-3}$ , com média de  $2,2 \pm 0,9 \mu\text{g m}^{-3}$ . A razão  $BC_{1,0}/BC_{2,5}$  foi de 0,92 (B10) para 0,96 (B11), respectivamente 92 e 96%, variando 4%.

A fim de verificar variâncias no decorrer dos anos, foram comparadas as medidas de concentração de  $BC_{1,0}$  e  $BC_{2,5}$ , realizadas neste trabalho (B10 e B11), com medidas realizadas no mesmo local (TCUL) com o uso de misturas B5, B6, B7 e B8 biodiesel/diesel, realizadas nos anos de 2014, 2016 e 2017 (Tabela 10).

**Tabela 10** – Concentrações médias de BC<sub>1,0</sub>, MP<sub>1,0</sub>, BC<sub>2,5</sub> e MP<sub>2,5</sub> dentro do Terminal de Ônibus Urbano Central de Londrina com combustão de misturas biodiesel/diesel B5, B6, B7, B8, B10 e B11.

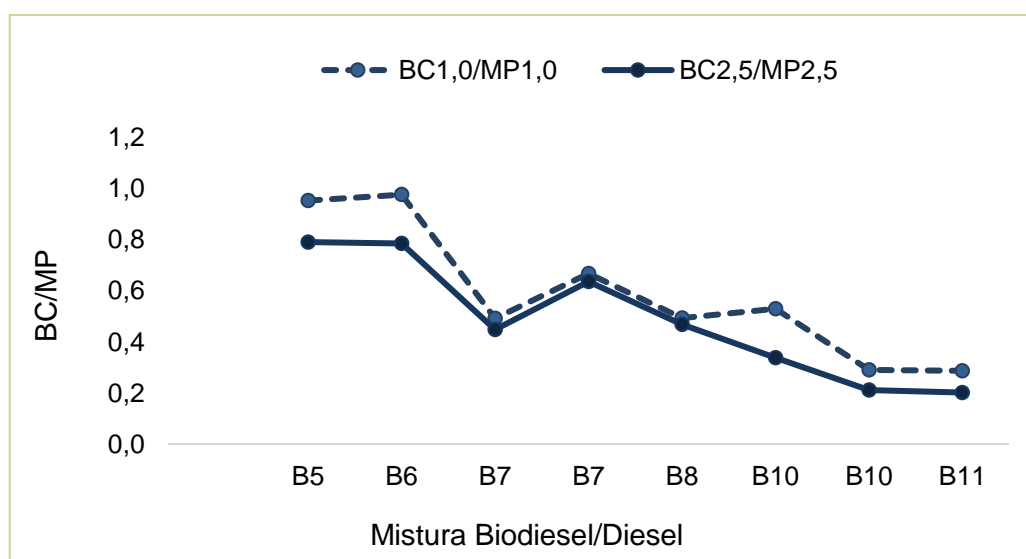
B/D <sup>1</sup>	BC <sub>1,0</sub>	MP <sub>1,0</sub>	BC <sub>2,5</sub>	MP <sub>2,5</sub>	Referência
	Média (µg m <sup>-3</sup> )				
B5	18,3	19,2	18,9	23,9	Silva Júnior et. al., (2019).
B6	24,8	25,4	24,9	31,7	Silva Júnior et. al., (2019).
B7	8,7	17,7	10,8	24,1	Silva Júnior et. al., (2019).
B7	18,7	28	21,5	33,8	Silva Júnior et. al., (2019).
B8	10,9	22,1	11,6	24,8	Silva Júnior et. al., (2019).
B10	2,7	5,2	3,0	8,8	Própria Autora, (2021).
B10	2,8	9,6	2,9	13,8	Própria Autora, (2021).
B11	2,1	7,3	2,2	10,9	Própria Autora, (2021).

Nota<sup>1</sup>: B/D = Biodiesel/Diesel.

Fonte: Própria autora, (2020).

O Gráfico 22 exibe a taxa de variação BC/MP para B5, B6, B7 (duas campanhas), B8, B10 (duas campanhas) e B11, coletadas no Terminal de Ônibus Urbano Central de Londrina.

**Gráfico 22** – Variação da taxa de BC<sub>1,0</sub>/MP<sub>1,0</sub> e BC<sub>2,5</sub>/MP<sub>2,5</sub> para combustíveis B5, B6, B7 (duas campanhas), B8, B10 (duas campanhas) e B11, a partir de dados coletados no Terminal de Ônibus Urbano Central de Londrina.



Fonte: Adaptado de Silva Júnior et al., (2019).

Os resultados apresentados na Tabela 10 e Gráfico 22 (B5 a B8) são referentes ao trabalho de Silva Júnior et al., (2009). Analisando os resultados as misturas B5 e B6 mostraram taxas  $BC_{1,0}/MP_{1,0}$  (95% e 98%, respectivamente) e  $BC_{2,5}/MP_{2,5}$  (79%, tanto para B5 quanto B6) superiores às demais misturas biodiesel/diesel, sendo que a menor taxa entre B5 e B11 foi relativa a B11, com 29% em  $BC_{1,0}/MP_{1,0}$  e 20% em  $BC_{2,5}/MP_{2,5}$ . De acordo com Chow et al., (2009), taxas de  $BC_{2,5}/MP_{2,5}$  são mais altas em emissões de tráfego, porém valores acima de 0,60 foram encontrados, tanto para  $BC_{1,0}/MP_{1,0}$  quanto para  $BC_{2,5}/MP_{2,5}$ ; especificamente para  $BC_{2,5}/MP_{2,5}$  em B5, B6 e B7, os valores foram, respectivamente, 0,64 (64%), 0,79 (79%) e 0,79 (79%), porém, essa taxa passou a cair, tendo B7 (0,45), B8 (0,47), B10 (0,34 e 0,21) e B11 (0,20), respectivamente, 45%, 47%, 34% e 21%, e 20%, indicando certa veracidade na afirmação de Chow et al., (2009).

Na Tabela 11 estão expressos os resultados de BC (concentrações de  $BC_{1,0}$  e  $BC_{2,5}$  em  $\mu\text{g m}^{-3}$ ), os valores médios  $\pm$  desvio padrão (%) e a razão  $BC_{1,0}/BC_{2,5}$ , coletados no MHL, campanha (1<sup>o</sup> ou 2<sup>o</sup>), de acordo com o combustível utilizado (B10 ou B11).

**Tabela 11** - Intervalo de concentração ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ), média  $\pm$  desvio padrão (%) ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) de  $\text{BC}_{1,0}$  e  $\text{BC}_{2,5}$  e razão  $\text{BC}_{1,0}/\text{BC}_{2,5}$  das amostras coletadas no MHL utilizando misturas biodiesel/diesel (B10 e B11).

Mistura B/D <sup>1</sup>	$\text{BC}_{1,0}$ ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )		$\text{BC}_{2,5}$ ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )		Razão $\text{BC}_{1,0}/\text{BC}_{2,5}$
	Mín. - Máx. <sup>2</sup>	$\bar{X} \pm \sigma_n$ (%) <sup>3</sup>	Mín. - Máx. <sup>2</sup>	$\bar{X} \pm \sigma_n$ (%) <sup>3</sup>	
1° Coleta B10 (2019)	0,4 - 1,8	0,8aaa <sup>4</sup> $\pm$ 0,4 46,5%	0,5 - 2,0	0,9aaa <sup>4</sup> $\pm$ 0,4 40,1	0,88
2° Coleta B10 (2019)	0,2 - 2,0	0,8aaa <sup>4</sup> $\pm$ 0,5 60,8%	0,3 - 2,2	0,9aaa <sup>4</sup> $\pm$ 0,8 54,8%	0,92
2° Coleta B11 (2019)	0,2 - 0,8	0,5aaa <sup>4</sup> $\pm$ 0,2 44,0%	0,3 - 0,9	0,7aaa <sup>4</sup> $\pm$ 0,3 37,1%	0,81

Nota<sup>1</sup>: B/D = Biodiesel/Diesel.

Nota<sup>2</sup>: Min. = Mínimo; Máx. = Máximo.

Nota<sup>3</sup>:  $\bar{X}$  = Média;  $\sigma_n$  = Desvio Padrão; Coeficiente de Variação (%) dada por: ((Desvio Padrão \* 100) / Média).

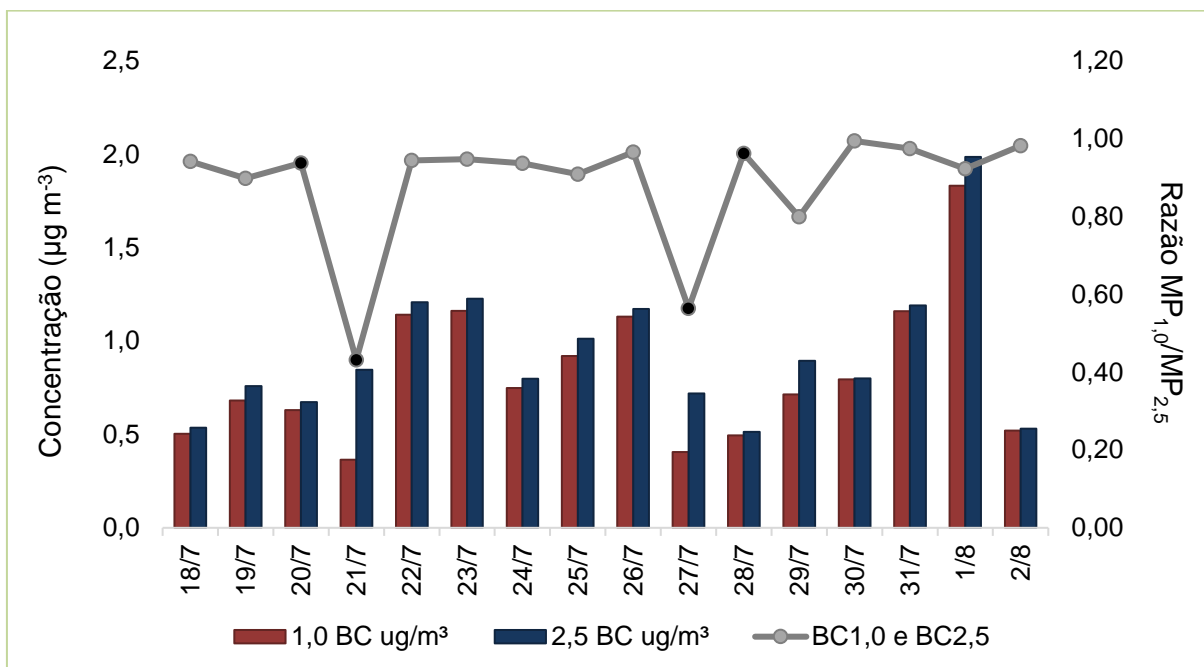
Nota<sup>4</sup>: Letras minúsculas representam diferença significativa ( $p < 0,05$ ) pelo teste *t-student*, onde a primeira letra simboliza a comparação estatística de B10 (1° campanha) com B10 (2° campanha) e B11 (2° campanha), a segunda letra simboliza a comparação estatística de B10 (2° campanha) com B10 (1° campanha) e B11 (2° campanha) e a terceira letra, representa B11 (2° campanha) com B10 (1° campanha) e B10 (2° campanha), a letra "a" indica semelhança estatística e a letra "b" representa diferença estatística.

**Fonte:** Própria autora, (2020).

De acordo com a Tabela 11, pode-se inferir que BC predominou a fração  $\text{BC}_{1,0}$ , com razão  $\text{BC}_{1,0}/\text{BC}_{2,5}$  variando de 0,88 para 0,92 a 0,81, respectivamente 88%, 92% e 81%. Avaliando os valores máximos de  $\text{BC}_{2,5}$ , na 2° coleta B10 teve um aumento, quando comparada a B10 da 1° campanha (de 2,0 para 2,2  $\mu\text{g m}^{-3}$ ), observa-se diminuição de cerca de 9%; confrontando-se com B11 da 2° campanha (de 2,2 para 0,9  $\mu\text{g m}^{-3}$ ), houve redução cerca de 59%. É possível observar, que tanto para  $\text{BC}_{1,0}$  quanto para  $\text{BC}_{2,5}$ , não houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre as campanhas.

O Gráfico 23 mostra as concentrações diárias de  $\text{BC}_{1,0}$  e  $\text{BC}_{2,5}$  e as razões  $\text{BC}_{1,0}/\text{BC}_{2,5}$  da primeira coleta de dados, observada no MHL entre os dias 18 de julho de 2019 a 02 de agosto de 2019 (B10).

**Gráfico 23** – Concentração diária de *black carbon* (BC<sub>1,0</sub> e BC<sub>2,5</sub> em  $\mu\text{g m}^{-3}$ ) e razão BC<sub>1,0</sub>/BC<sub>2,5</sub> no Museu Histórico de Londrina, observada de 18/07 a 02/08/2019 (combustível B10) (campanha 1).



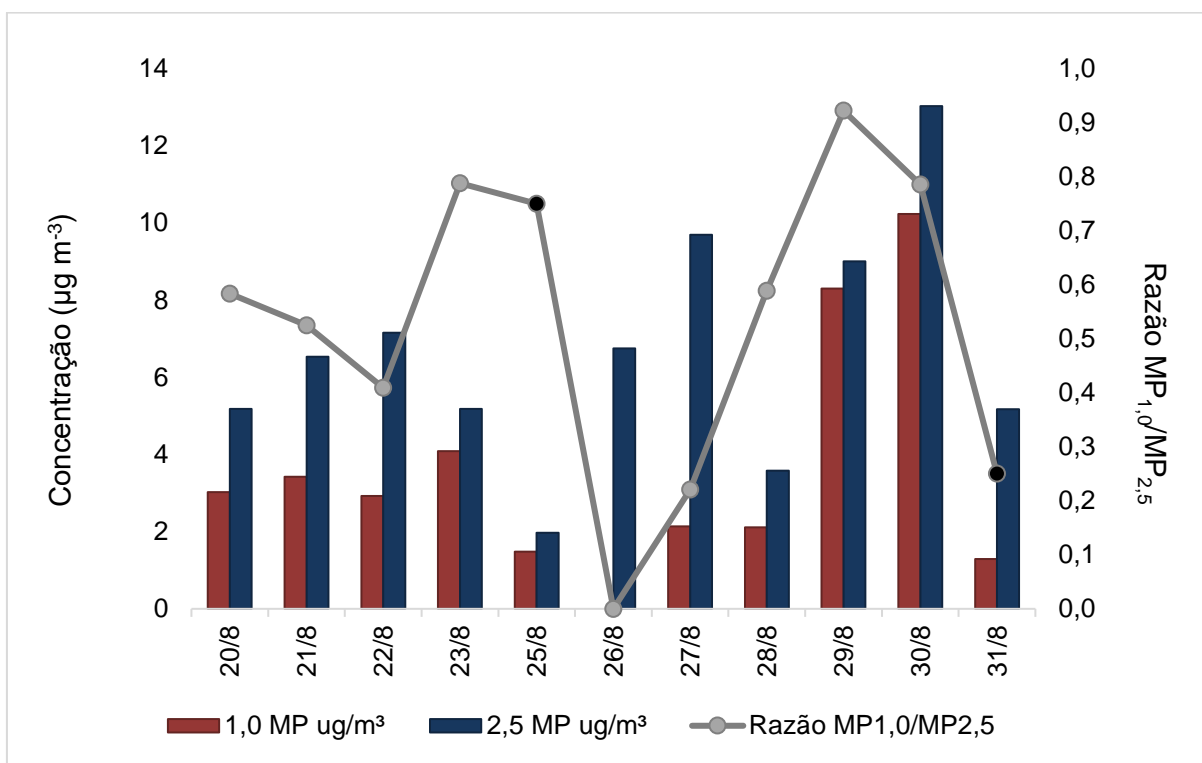
Nota: Pontos pretos no gráfico representam finais de semana (sábado e domingo).

Fonte: Própria autora, (2020).

O Gráfico 23 exibe as variações diárias do BC<sub>1,0</sub> e BC<sub>2,5</sub> e as razões entre as frações BC<sub>1,0</sub>/BC<sub>2,5</sub> (campanha 1) (B10). BC<sub>1,0</sub> variou entre 0,4 e 1,8  $\mu\text{g m}^{-3}$ , com média de  $0,8 \pm 0,4 \mu\text{g m}^{-3}$ , e BC<sub>2,5</sub> oscilou entre 0,5 e 2,0  $\mu\text{g m}^{-3}$ , com média de  $0,9 \pm 0,4 \mu\text{g m}^{-3}$ . Aos finais de semana, a frota circulante de veículos diminuiu, motivo da redução das concentrações de BC.

O Gráfico 24 mostra as concentrações diárias de BC<sub>1,0</sub> e BC<sub>2,5</sub> e as razões BC<sub>1,0</sub>/BC<sub>2,5</sub> da segunda coleta de dados, realizada no MHL entre os dias 20 de agosto de 2019 a 31 de agosto de 2019 (B10).

**Gráfico 24** – Concentração diária de *black carbon* ( $BC_{1,0}$  e  $BC_{2,5}$  em  $\mu\text{g m}^{-3}$ ) e razão  $BC_{1,0}/BC_{2,5}$  no Museu Histórico de Londrina, observada de 20/08 a 31/08/2019 (combustível B10) (campanha 2).



Nota: Pontos pretos no gráfico representam finais de semana (sábado e domingo).

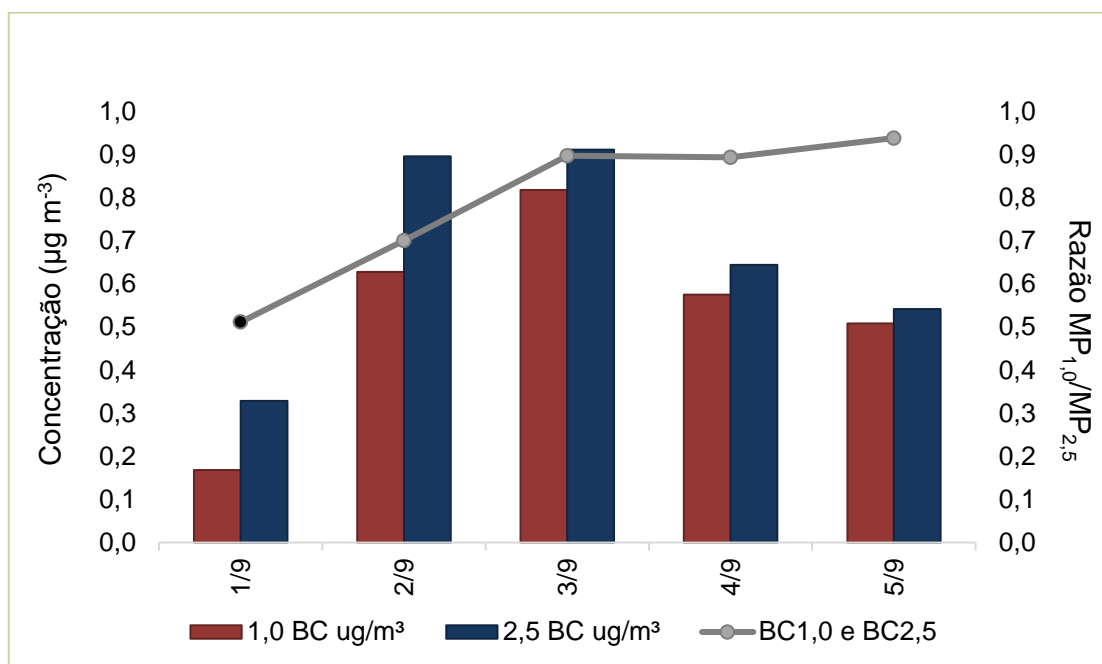
Nota: Dias nos quais houve imprevistos na coleta (tanto para  $MP_{1,0}$  quanto para  $MP_{2,5}$ ), não apresentam razão.

Fonte: Própria autora, (2020).

O Gráfico 24 exibe as variações diárias do  $BC_{1,0}$ ,  $BC_{2,5}$  e as razões entre as frações  $BC_{1,0}/BC_{2,5}$  (campanha 2) (B10). Os dias que não apresentam valor de concentração de BC, são dias nos quais houve algum imprevisto, como, mangueira solta ou falta de energia.  $BC_{1,0}$  variou entre 0,2 e 2,0  $\mu\text{g m}^{-3}$ , com média de  $0,8 \pm 0,5 \mu\text{g m}^{-3}$ , e  $BC_{2,5}$  oscilou entre 0,3 e 2,2  $\mu\text{g m}^{-3}$ , com média de  $0,9 \pm 0,8 \mu\text{g m}^{-3}$ . Aos finais de semana a frota circulante de veículos diminui, motivo da redução das concentrações de BC.

O Gráfico 25 mostra as concentrações diárias de  $BC_{1,0}$  e  $BC_{2,5}$  e as razões  $BC_{1,0}/BC_{2,5}$  da segunda coleta de dados, realizada no MHL entre os dias 1 de setembro de 2019 a 5 de setembro de 2019 (B11).

**Gráfico 25** – Concentração diária de *black carbon* (BC<sub>1,0</sub> e BC<sub>2,5</sub> em  $\mu\text{g m}^{-3}$ ) e razão BC<sub>1,0</sub>/BC<sub>2,5</sub> no Museu Histórico de Londrina, observada de 01/09 a 05/09/2019 (combustível B11) (campanha 2).



Nota: O ponto preto no gráfico, representa um dia do final de semana (domingo).

Fonte: Própria autora, (2020).

O Gráfico 25 exibe as variações diárias do BC<sub>1,0</sub> e BC<sub>2,5</sub> e as razões entre as frações BC<sub>1,0</sub>/BC<sub>2,5</sub> (campanha 2) (B11). BC<sub>1,0</sub> variou entre 0,2 e 0,8  $\mu\text{g m}^{-3}$ , com média de  $0,5 \pm 0,2 \mu\text{g m}^{-3}$ , e BC<sub>2,5</sub> oscilou entre 0,3 e 0,9  $\mu\text{g m}^{-3}$ , com média de  $0,7 \pm 0,3 \mu\text{g m}^{-3}$ . Aos finais de semana, a frota circulante de veículos diminui, motivo da redução das concentrações de BC.

Com intuito de verificar variâncias entre as coletas realizadas neste trabalho (2019) e as amostragens realizadas por Mantovani, (2021) no mesmo local (MHL), foram comparadas as medidas de concentração de BC<sub>1,0</sub> e BC<sub>2,5</sub> realizadas neste trabalho (B10 e B11) com medidas decorrentes do uso da mistura B12 biodiesel/diesel (Tabela 12).

**Tabela 12** – Concentrações médias de BC<sub>1,0</sub>, MP<sub>1,0</sub>, BC<sub>2,5</sub> e MP<sub>2,5</sub> dentro do Museu Histórico de Londrina com combustão de biodiesel B10 (duas campanhas), B11 e B12.

B/D <sup>1</sup>	BC <sub>1,0</sub>	MP <sub>1,0</sub>	BC <sub>2,5</sub>	MP <sub>2,5</sub>	BC <sub>1,0</sub> /MP <sub>1,0</sub>	BC <sub>2,5</sub> /MP <sub>2,5</sub>	Referência
	Média (µg m <sup>-3</sup> )				Razão (µg m <sup>-3</sup> )		
B10	0,9	3,0	0,9	7,4	0,27aaa <sup>2</sup>	0,12aaa <sup>2</sup>	Própria Autora, (2021).
B10	0,8	4,0	0,9	6,7	0,20aaa <sup>2</sup>	0,13aaa <sup>2</sup>	Própria Autora, (2021).
B11	0,5	3,0	0,7	7,0	0,17aaa <sup>2</sup>	0,10aaa <sup>2</sup>	Própria Autora, (2021).
B12d <sup>3</sup>	0,6	13,4	0,6	14,8	0,04aaa <sup>2</sup>	0,04aaa <sup>2</sup>	Mantovani, (2021).
B12p <sup>4</sup>	0,7	18,4	0,9	21,6	0,04aaa <sup>2</sup>	0,04aaa <sup>2</sup>	Mantovani, (2021).

Nota<sup>1</sup>: B/D = Biodiesel/Diesel.

Nota<sup>2</sup>: Letras minúsculas representam diferença significativa ( $p < 0,05$ ) pelo teste *t-student*, onde a primeira letra simboliza a comparação estatística de B10 (1° campanha) com as demais campanhas a segunda letra simboliza a comparação estatística de B10 (2° campanha) com as demais campanhas e a terceira letra, representa B11 (2° campanha) com as demais campanhas, a letra “a” indica semelhança estatística e a letra “b” representa diferença estatística.

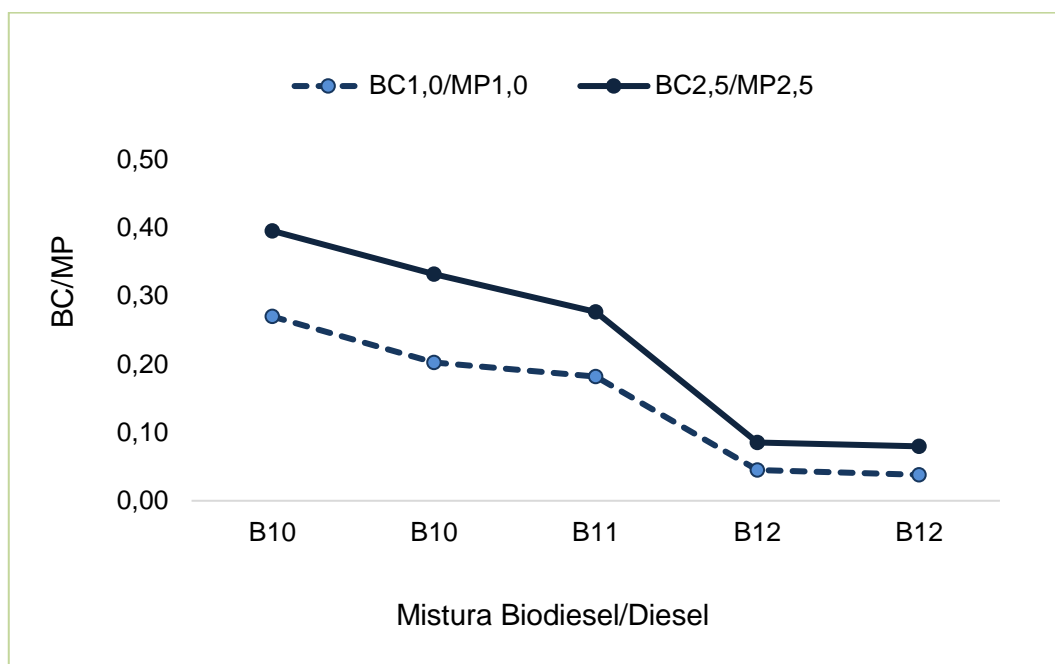
Nota<sup>3</sup>: B12d = Uso da mistura biodiesel/diesel B12, durante o período de quarentena (02 de abril à 11 de abril de 2020).

Nota<sup>4</sup>: B12p = Uso da mistura biodiesel/diesel B12 posterior a reabertura das atividades comerciais e industriais (12 de abril à 24 de abril de 2020).

**Fonte:** Própria autora, (2020).

O Gráfico 26 exibe a taxa de variação de concentração de BC/MP para B10 (duas campanhas) (2019), B11 (2019) e B12 (2020 – durante e posterior ao período de quarentena) observada no Museu Histórico de Londrina.

**Gráfico 26** – Variação da taxa de  $BC_{1,0}/MP_{1,0}$  e  $BC_{2,5}/MP_{2,5}$  para combustíveis B10 (duas campanhas), B11 e B12 (durante e posterior ao período de quarentena) observada no Museu Histórico de Londrina.



Fonte: Própria autora, (2021).

Os resultados apresentados na Tabela 12 e Gráfico 26 (B12) são referentes ao trabalho de Mantovani, (2021). Analisando os resultados de  $BC/MP$  relativos às misturas B10 (1º campanha), B10 (2º campanha) e B11, verifica-se que as taxas  $BC_{1,0}/MP_{1,0}$  (aproximadamente 27%, 20% e 18% respectivamente) e  $BC_{2,5}/MP_{2,5}$  (aproximadamente 13% para B10 nas duas campanhas e 9% para B11) as taxas  $BC/MP$  foram superiores à mistura biodiesel/diesel B12 (4%, tanto para  $BC_{1,0}/MP_{1,0}$  quanto para  $BC_{2,5}/MP_{2,5}$  – para B12d e B12p). Avaliando as razões (Tabela 12 e Gráfico 26), é possível afirmar que, tanto para  $BC_{1,0}/MP_{1,0}$  quanto para  $BC_{2,5}/MP_{2,5}$ , houve semelhança estatística entre as campanhas.

De acordo com Chow et al., (2009), taxas de  $BC_{2,5}/MP_{2,5}$  são mais altas em emissões de tráfego, porém todos os valores encontrados estiveram abaixo de 27%, tanto para  $BC_{1,0}/MP_{1,0}$  quanto para  $BC_{2,5}/MP_{2,5}$ ; especificamente para razão  $BC_{2,5}/MP_{2,5}$  de B10 (1º campanha), B10 (2º campanha) e B11, as taxas  $BC_{2,5}/MP_{2,5}$  foram 13% (para as duas campanhas de B10), 9% (B11) e 4% (B12), indicando dúvidas quanto à afirmação de Chow et al., (2009).

## 7 CONCLUSÃO

Conclui-se que as concentrações de material particulado fino ( $MP_{1,0}$  e  $MP_{2,5}$ ) provenientes de combustão biodiesel/diesel B10 e B11 coletadas no Terminal de Ônibus Central Urbano de Londrina diminuíram em relação a B3, B5, B6, B7 e B8, mas quando comparado a B12 (combustível empregado posteriormente a B10 e B11), os valores voltam a subir, passando de  $9,6 \mu\text{g m}^{-3}$  (média de B10 para  $MP_{1,0}$  – 2° campanha realizada no TCUL) e  $7,3 \mu\text{g m}^{-3}$  (média de B11 para  $MP_{1,0}$  – 2° campanha realizada no TCUL) para  $10,4 \mu\text{g m}^{-3}$  (B12d – média durante o período de quarentena) e  $16,4 \mu\text{g m}^{-3}$  (B12p – média posterior ao período de quarentena), diferença está de cerca de 8% (de B10 para B12d – durante quarentena), 41% (de B10 para B12p – posterior a quarentena), 30% (de B11 para B12d – durante quarentena) e 55% (de B11 para B12p – posterior a quarentena). Para  $MP_{2,5}$ , o resultando foi semelhante: as concentrações provenientes da combustão diesel/biodiesel B10 e B11 diminuíram em relação as misturas diesel/biodiesel B5, B6, B7 e B8, mas quando avaliado B12, os valores de concentração voltaram a subir, sendo  $13,8 \mu\text{g m}^{-3}$  (média de B10 para  $MP_{2,5}$  – 2° campanha realizada no TCUL),  $10,9 \mu\text{g m}^{-3}$  (média de B11 para  $MP_{2,5}$  – 2° campanha realizada no TCUL) para  $14,8$  e  $19,8 \mu\text{g m}^{-3}$  (médias de B12 – B12d e B12p respectivamente - para  $MP_{2,5}$  - campanha realizada no TCUL), diferença está de cerca de 7 e 30% (de B10 para B12– B12d e B12p, respectivamente) e 26 e 45% (de B11 para B12 – B12d e B12p, respectivamente).

Nas medidas realizadas no Museu Histórico de Londrina, ocorreu o mesmo padrão apresentado tanto para  $MP_{1,0}$  quanto para  $MP_{2,5}$ , tendo concentração média de  $3,9 \mu\text{g m}^{-3}$  e  $6,7 \mu\text{g m}^{-3}$  (B10 para  $MP_{1,0}$  e  $MP_{2,5}$  respectivamente – 2° campanha),  $3,0 \mu\text{g m}^{-3}$  e  $7,0 \mu\text{g m}^{-3}$  (B11 para  $MP_{1,0}$  e  $MP_{2,5}$  respectivamente – 2° campanha) para  $13,4 \mu\text{g m}^{-3}$  e  $14,8 \mu\text{g m}^{-3}$  (B12d – durante o período de quarentena - para  $MP_{1,0}$  e  $MP_{2,5}$  respectivamente) e  $18,4 \mu\text{g m}^{-3}$  e  $21,6 \mu\text{g m}^{-3}$  (B12p – posterior ao período de quarentena - para  $MP_{1,0}$  e  $MP_{2,5}$  respectivamente), diferença está de cerca de 71% ( $MP_{1,0}$ ) e 55% ( $MP_{2,5}$ ) (de B10 para B12d), 79% ( $MP_{1,0}$ ) e 69% ( $MP_{2,5}$ ) (de B10 para B12p), 78% ( $MP_{1,0}$ ) e 53% ( $MP_{2,5}$ ) (de B11 para B12d) e 84% ( $MP_{1,0}$ ) e 68% ( $MP_{2,5}$ ) (de B11 para B12p). De forma geral, a concentração do material particulado fino diminui até B10 e B11 e voltou a subir em B12, mas a razão  $MP_{1,0}/MP_{2,5}$  aumentou, mostrando o incremento de  $MP_{1,0}$  na fração fina do MP.

Vale ressaltar que nos dias que foram realizadas as coletas de MP

provenientes da combustão de biodiesel/diesel B12, obras nas redondezas estavam acontecendo, fato este que pode ter influenciado o aumento de MP para B12, o que justificaria o aumento de B12 em relação a B10 e B11, corroborando com os valores superiores de MP no MHL (local aberto – maior área de dissipação das partículas), uma vez que a tendência é que, em ambientes semifechados/fechados como o local de amostragem (TCUL), as partículas tendem a permanecer no ambiente devido à menor área de dispersão. Desconsiderando fatores externos, pode-se afirmar que combustões provenientes de misturas biodiesel/diesel B10 e B11 são “menos poluentes”, haja vista que valores de concentração de MP de misturas biodiesel/diesel provenientes da combustão de B3, B5, B6, B7, B8 (combustível empregado anteriormente a B10 e B11) e B12 (combustível empregado posteriormente a B10 e B11) obtiveram concentrações de MP superiores às concentrações de MP provenientes da combustão de misturas biodiesel/diesel B10 e B11.

Quanto às análises de *black carbon*, pode-se concluir que foi determinado BC nas frações do MP fino, tanto no TCUL quanto no MHL; de maneira geral, em comparação entre as amostragens, houve diminuição na razão  $BC_{1,0}/MP_{1,0}$  de 95% (B3) para 53% (B10 – 1º campanha), seguido de 29% (B10 – 2º campanha) e 29% (B11 – 2º campanha); para razão  $BC_{2,5}/MP_{2,5}$ , os valores foram 79% (B3), para 34% (B10 – 1º campanha), seguido de 21% (B10 – 2º campanha) e 20% (B11 – 2º campanha). Para o MHL, as razões foram  $BC_{1,0}/MP_{1,0}$  de 27% (B10 – 1º campanha), seguido de 20% (B10 – 2º campanha), 18% (B11 – 2º campanha) e 4% (B12 – tanto para B12d – coleta durante a quarentena, - quanto para B12p – coleta posterior ao período de quarentena); para razão  $BC_{2,5}/MP_{2,5}$ , os valores foram 13% (B10 – 1º campanha), seguido de 13% (B10 – 2º campanha), 9% (B11) e 4% (B12 – tanto para B12d – coleta durante o período de quarentena, - quanto para B12p – coleta posterior ao período de quarentena).

O uso de combustíveis renováveis no Brasil e no mundo é incentivado, mas pouco se sabe sobre sua utilização na prática. Vale evidenciar que além da viabilidade técnica do processo, trabalhos como este que analisam as emissões provenientes da combustão de biocombustíveis devem ser realizados e documentados, pois são necessários estudos sobre a alteração da qualidade do ar e o impacto sobre o ambiente que estas emissões podem provocar.

Espera-se que os resultados deste trabalho possam ser úteis como referência em estudos futuros sobre inventários de emissões e, principalmente, em estratégias

de controle de emissões veiculares, considerando a participação ampliada do biodiesel nas misturas de diesel, além de propor políticas urbanas para a melhora da qualidade de ar nestes ambientes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE FILHO, V. S. de. **Estudo da associação entre material particulado emitido em queimadas e doenças respiratórias no município de Manaus, AM.** 2011. 100 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Clima e Meio Ambiente –CLIAMB, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA, Universidade do Estado do Amazonas –UEA, Manaus (AM), 2011.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Biomassa.** 2005. Disponível em: <https://livroaberto.ibict.br/bitstream/1/582/6/05%20-%20Biomassa%282%29.pdf>. Acesso em: 06 jun. 2021.

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Biodiesel.** 2020. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/producao-de-biocombustiveis/biodiesel/simp-biodiesel>. Acesso em: 19 maio 2021.

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Matérias prima (MP) nacional.** 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br>. Acesso em: 15 out. 2021.

ARAGÓN, C. S.; PAMPLONA, E.; MEDINA, J. R. V.. Identificação de investimentos em eficiência energética e sua avaliação de risco. **Gestão & Produção**, v. 20, n.3, p. 525-536, 2013.

BAIRD, C. **Química Ambiental**, Bookman, 2<sup>o</sup> ed., Porto Alegre, 2002.

BAIRD, C.; CANN, M.. **Química Ambiental.** 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.

BARROS, E.V.. A matriz energética mundial e a competitividade das nações: bases de uma nova geopolítica. **Engevista**, [S.L.], v. 9, n. 1, p. 1-10, 2 fev. 2010. Pro Reitoria de Pesquisa, Pos Graduação e Inovação - UFF. <http://dx.doi.org/10.22409/engevista.v9i1.183>.

BARROS, M. V. F.; ARCHELA, R. S.; BARROS, O. N. F.; THÉRY, H; MELLO, N. A. de; GRATÃO, L. H. B.. **O Sítio Urbano.** 2021. Universidade Estadual de Londrina (UEL). Disponível em: <http://www.uel.br/revistas/atlasambiental/NATURAL/SITIOURBANO.htm>. Acesso em: 24 jun. 2021.

BEN. Balanço Energético Nacional. **Relatório Síntese / Ano Base 2018.** 2019. Empresa de Pesquisa Energética - EPE. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-377/topico-470/Relat%C3%B3rio%20S%C3%ADntese%20BEN%202019%20Ano%20Base%202018.pdf>. Acesso em: 06 out. 2021.

BEN. Balanço Energético Nacional. **Relatório Síntese / Ano Base 2019.** 2020. Empresa de Pesquisa Energética - EPE. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados->

abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topico-521/Relato%CC%81rio%20Si%CC%81ntese%20BEN%202020-ab%202019\_Final.pdf. Acesso em: 06 out. 2021.

BERNI, M. D.. REVISTA O PAPEL TRAZ NOVO ENFOQUE SOBRE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA. **Coluna Biomassa e Energia Renovável**, p. 30-31, mar. 2016. Disponível em: [http://www.revistaopapel.org.br/noticia-anexos/1458172659\\_f2c2dda239829c3ef7637a71e0a0d082\\_651930944.pdf](http://www.revistaopapel.org.br/noticia-anexos/1458172659_f2c2dda239829c3ef7637a71e0a0d082_651930944.pdf). Acesso em: 07 jun. 2021.

BIODIESELBR. **Amub é a nova associação de produtores de biodiesel do Brasil**. 2021. Disponível em: <https://www.biodieselbr.com/noticias/usinas/info/amub-e-a-nova-associacao-de-produtores-de-biodiesel-do-brasil-050321>. Acesso em: 06 jun. 2021.

BIODIESELBR. **O Que é Biodiesel?** 2019. Disponível em: <https://www.biodieselbr.com/biodiesel/definicao/o-que-e-biodiesel#:~:text=O%20biodiesel%20%C3%A9%20um%20combust%C3%ADvel,%C3%A9%20um%20substituto%20do%20diesel..> Acesso em: 06 jun. 2021.

BIODIESELBR. **Sobre o biodiesel**. 2011. Disponível em: <https://www.biodieselbr.com/biodiesel/definicao/biodiesel>. Acesso em: 06 jun. 2021.

BOND, T.C.; DOHERTY, S.J.; FAHEY, D.W.; FORSTER, P.M.; BERNTSEN, T.; DEANGELO, B.J.; FLANNER, M.G.; GHAN, S.; KÄRCHER, B.; KOCH, D.; KINNE, S.; KONDO, Y.; QUINN, P.K.; SAROFIM, M.C.; SCHULTZ, M.G.; SCHULZ, M.; VENKATARAMAN, C.; ZHANG, H.; ZHANG, S.; BELLOUIN, N.; GUTTIKUNDA, S. K.; HOPKE, P.K.; JACOBSON, M.Z.; KAISER, J.W.; KLIMONT, Z.; LOHMANN, U.; SCHWARZ, J.P.; SHINDELL, D.; STORELVMO, T.; WARREN, S.G.; ZENDER, C.S.. Bounding the role of *black carbon* in the climate system: a scientific assessment. **Journal Of Geophysical Research: Atmospheres**, [S.L.], v. 118, n. 11, p. 5380-5552, 6 jun. 2013. American Geophysical Union (AGU). <http://dx.doi.org/10.1002/jgrd.50171>.

BORKOWSKA, H.; MOLAS, R.. Yield comparison of four lignocellulosic perennial energy crop species. **Biomass And Bioenergy**, [S.L.], v. 51, p. 145-153, abr. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.01.017>.

BRAIT, C. H. H. **Monitoramento ambiental de metais utilizando biomonitorios e sistema passivo de coleta de poluentes**. 2008. 116 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Doutorado em Ciências Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia (Go), 2008.

BRASIL. Lei n.º 11097, de 13 de janeiro de 2005. Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira. Diário Oficial da União, Brasília, DF, p. 8, 14 de janeiro de 2005. Seção 1.

BRASIL. Resolução ANP n.º 15, de 17 de julho de 2006. Estabelece as especificações de óleo diesel e mistura óleo diesel/biodiesel B2 de uso rodoviário, para comercialização em todo o território nacional, e define obrigações dos agentes

econômicos sobre o controle da qualidade do produto. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 19 de julho de 2006. Seção 1.

BRASIL. Resolução ANP n.º 30, de 23 de junho de 2016. Estabelece a especificação do óleo diesel BX a B30, em caráter autorizativo. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 24 de junho de 2016. Seção 1.

BRASIL. Resolução ANP n.º 45, de 25 de agosto de 2014. Dispõe sobre a especificação do biodiesel contida no Regulamento Técnico ANP n.º 3 de 2014 e as obrigações quanto ao controle da qualidade a serem atendidas pelos diversos agentes econômicos que comercializam o produto em todo o território nacional. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 25 de agosto de 2014. Seção 1.

BRASIL. Resolução ANP n.º 50, de 23 de dezembro de 2013. Regulamenta as Especificações do óleo diesel de uso rodoviário, contidas no Regulamento Técnico ANP n.º 4/2013, e as obrigações quanto ao controle da poluição da qualidade a serem atendidas pelos diversos agentes econômicos que comercializam o produto em todo o território nacional. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 24 de dezembro de 2013. Seção 1.

BRASIL. Resolução ANP n.º 7, de 19 de março de 2008. Estabelece a especificação do biodiesel a ser comercializado pelos diversos agentes econômicos autorizados em todo o território nacional. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 20 de março de 2008. Seção 1.

BRASIL. Resolução CNPE n.º 16, de 29 de outubro de 2018. Dispõe sobre a evolução da adição obrigatória de biodiesel ao óleo diesel vendido ao consumidor final, em qualquer parte do território nacional. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 8 de novembro de 2018, Seção 1.

BRASIL. Resolução CONAMA n.º 005, de 15 de junho de 1989. Dispõe sobre o Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar PRONAR. Diário Oficial da União, Brasília, DF, p. 14713-14714, 25 de agosto de 1989. Seção 1.

BRASIL. Resolução CONAMA n.º 018, de 6 de maio de 1986. Dispõe sobre a criação do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores PROCONVE. Diário Oficial da União, Brasília, DF, p. 8792-8795, 17 de junho de 1986. Seção 1.

BRASIL. Resolução CONAMA n.º 297, de 26 de fevereiro de 2002. Estabelece os limites para emissões de gases poluentes por ciclomotores, motocicletas e veículos similares novos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, p. 86-88, 15 de fevereiro de 2002. Seção 1.

BRASIL. Resolução CONAMA n.º 491, de 19 de novembro de 2018. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar. Diário Oficial da União, n. 223, Brasília, DF, p. 155-156, 21 de novembro de 2018. Seção 1.

BRAUN, S.; APPEL, L. G.; SCHMAL, M.. A poluição gerada por máquinas de combustão interna movidas à diesel - a questão dos particulados. Estratégias atuais

para a redução e controle das emissões e tendências futuras. **Química Nova**, [S.L.], v. 27, n. 3, p. 472-482, jun. 2004. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422004000300018>.

BRITO, G. F. da S.; SODRÉ, F. F.; ALMEIDA, F. V.. O Impacto do Material Particulado na Qualidade do Ar. **Revista Virtual de Química**, Brasília (DF), v. 10, n. 5, p. 1-20, 30 out. 2018. Disponível em: <https://www.ufjf.br/baccan/files/2019/04/Brito-Gabriel-RVQ-NoPrelo.pdf>. Acesso em: 07 jun. 2021.

CALVO, A.I.; ALVES, C.; CASTRO, A.; PONT, V.; VICENTE, A.M.; FRAILE, R.. Research on aerosol sources and chemical composition: past, current and emerging issues. **Atmospheric Research**, [S.L.], v. 120-121, p. 1-28, fev. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2012.09.021>.

CAMARINHA, G. C.. **Determinação quantitativa de fontes de Material Particulado Inalável na Atmosfera da Região Metropolitana do Rio de Janeiro**. 2010. 176 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Departamento de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro (RJ), 2010.

CAMIOTO, F. C.; REBELATTO, D. A. N.; ROCHA, R. T. Análise da eficiência energética nos países do BRICS: um estudo envolvendo a Análise por Envoltória de Dados. **Gestão & Produção**, v. 23, n. 1, p. 192-203, 2016.

CAMIOTO, F. D. C.; REBELATTO, D. A. D. N. Assessment of the environmental contribution by changing the energy matrix of the brazilian pig iron and steel sector. **Gestão & Produção**, v. 21, n. 4, p. 732-744, 2014.

CANAL. Jornal da Bioenergia. **Biodiesel – o que é, como é feito, vantagens, desvantagens, produção no Brasil**. 2019. Disponível em: <https://www.canalbioenergia.com.br/biodiesel-o-que-e-como-e-feito-vantagens-desvantagens-producao-no-brasil/>. Acesso em: 06 jun. 2021.

CANAL. Jornal da Bioenergia. **RenovaBio completa um ano e emerge como umas das políticas ambientais mais consistentes do Brasil**. 2021. Disponível em: <https://www.canalbioenergia.com.br/tag/renovabio/>. Acesso em: 06 jun. 2021.

CANÇADO, J. E.D.; SALDIVA, P. H.N.; PEREIRA, L. A.A.; LARA, L. B.L.s.; ARTAXO, P.; MARTINELLI, L. A.; ARBEX, M. A.; ZANOBETTI, A.; BRAGA, A. L.F.. The Impact of Sugar Cane–Burning Emissions on the Respiratory System of Children and the Elderly. **Environmental Health Perspectives**, [S.L.], v. 114, n. 5, p. 725-729, maio 2006. Environmental Health Perspectives. <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.8485>.

CARDU, M.; BAICA, M. Regarding a global methodology to estimative the energy-ecologic efficiency of thermopower plants. **Energy Conversion and Management**, vol. 40, p. 71 – 87, 1999. Disponível em: <https://inis.iaea.org/search/searchsinglerecord.aspx?recordsFor=SingleRecord&RN=31002967>. Acesso em: 07 jun. 2021.

CARVALHO, A.. **Caracterização físico-química do biodiesel de algodão**. 2018. 51 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (Área de Concentração em Mecanização Agrícola), Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras, Lavras - MG, 2018.

CASTANHO, A. D. de A.. **A determinação quantitativa de fontes de material particulado na atmosfera da cidade de São Paulo**. 1999. 140 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Instituto de Física (Física Nuclear), Instituto de Física da Universidade de São Paulo, SP, 1999.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade do Ar: Poluentes**. 2021. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/poluentes/>. Acesso em: 06 jun. 2021.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade do ar no estado de São Paulo 2016**. 2017. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2017/09/relatorio-ar-2016.pdf>. Acesso em: 06 jun. 2021.

CHOW, J. C.; WATSON, J. G.; DORAISWAMY, P.; CHEN, L.-W. A.; SODEMAN, D. A.; LOWENTHAL, D. H.; PARK, K.; ARNOTT, W. P.; MOTALLEBI, N.. Aerosol light absorption, *black carbon*, and elemental carbon at the Fresno Supersite, California. **Atmospheric Research**, [S.L.], v. 93, n. 4, p. 874-887, ago. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2009.04.010>.

CNT. Confederação Nacional do Transporte. **CNT apresenta sugestão para redução do preço do óleo diesel**. 2020. Disponível em: <https://cnt.org.br/agencia-cnt/cnt-apresenta-sugesto-para-reduo-do-preo-do-leo-diesel>. Acesso em: 06 jun. 2021.

CODEL. Instituto de Desenvolvimento de Londrina. **Dados Geográficos de Londrina-PR**. 2015. Disponível em: <https://codel.londrina.pr.gov.br/>. Acesso em: 15 out. 2021.

COPEL. Companhia Paranaense de Energia. **Biomassa**. 2016. Disponível em: <https://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Froot%2Fpagcopel2.nsf%2Fdocs%2F24349F1A246428E1032574240049F201>. Acesso em: 07 jun. 2021.

COPEL. Companhia Paranaense de Energia. **Balanco Energético do Paraná 2010: ano base 2009**. Curitiba (PR) 2010. Disponível em: [https://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/balanco\\_energetico\\_d\\_o\\_parana-2010-ano\\_base\\_2009/\\$FILE/Balanco\\_Energetico\\_do\\_Parana-2010-Ano\\_Base\\_2009.pdf](https://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/balanco_energetico_d_o_parana-2010-ano_base_2009/$FILE/Balanco_Energetico_do_Parana-2010-Ano_Base_2009.pdf). Acesso em: 08 jun. 2021.

DIPTI; PRIYANKA. Bioenergy Crops an Alternative Energy. **International Journal Of Environmental Engineering And Management**, v. 4, n. 3, p. 265-272, out. 2013. Disponível em: [https://www.ripublication.com/ijeem\\_spl/ijeemv4n3\\_17.pdf](https://www.ripublication.com/ijeem_spl/ijeemv4n3_17.pdf). Acesso em: 07 jun. 2021.

DOMINGO, J. L.; ROVIRA, J.. Effects of air pollutants on the transmission and severity of respiratory viral infections. **Environmental Research**, [S.L.], v. 187, p. 1-

15, ago. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envres.2020.109650>.

ECYCLE. **Entenda o que é bioenergia**. 2021a. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/bioenergia/>. Acesso em: 06 jun. 2021.

ECYCLE. **O que é diesel?** 2021b. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br>. Acesso em: 06 jun. 2021.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Biodiesel**. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/e-campo/biodiesel>. Acesso em: 06 jun. 2021.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Economia da Agroenergia**. 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/16184/economia-da-agroenergia>. Acesso em: 06 jun. 2021.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Energia e Aquecimento Global**. 2021a. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia>. Acesso em: 06 jun. 2021.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Demanda de Energia 2050**: Estudos da Demanda de Energia. 2016. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-458/DEA%2013-15%20Demanda%20de%20Energia%202050.pdf>. Acesso em: 06 out. 2021.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Matriz Energética e Elétrica**. 2021b. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 06 jun. 2021.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Nacional de Energia - 2030**. 2007. Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-165/topico-173/PNE%202030%20-%20Gera%C3%A7%C3%A3o%20Termel%C3%A9trica%20\(Biomassa\).pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-165/topico-173/PNE%202030%20-%20Gera%C3%A7%C3%A3o%20Termel%C3%A9trica%20(Biomassa).pdf). Acesso em: 06 jun. 2021.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Nacional de Energia**. 2008. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-nacional-de-energia-pne>. Acesso em: 06 jun. 2021.

FENG, J., M. ZHONG, B. XU, Y. DU, M. WU, H. WANG, C. CHEN *Concentrations, seasonal and diurnal variations of black carbon in PM<sub>2.5</sub> in Shanghai, China*. **Atmospheric Research**, v.1, n. 9, p. 147–148. 2014. Disponível em: <https://www.ccacoalition.org/ar/resources/concentrations-seasonal-and-diurnal-variations-black-carbon-pm25-shanghai-china>. Acesso em: 06 jun. 2021.

FERREIRA, S.; MOREIRA, N. A.; MONTEIRO, E. Bioenergy overview for Portugal. **Biomass and Bioenergy**, v. 33, p.1567–1576, 2009.

FERREIRA, A. L. D.. **Culturas energéticas: produção de biomassa e bioenergia**.

2015. 74 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia do Ambiente, Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade de Coimbra (FCTUC), Coimbra (Portugal), 2015. Disponível em: [https://eg.uc.pt/bitstream/10316/38787/1/Culturas%20energeticas\\_producao%20de%20biomassa%20e%20bioenergia.pdf](https://eg.uc.pt/bitstream/10316/38787/1/Culturas%20energeticas_producao%20de%20biomassa%20e%20bioenergia.pdf). Acesso em: 07 jun. 2021.

FINLAYSON-PITTS, B.; PITTS JR., J.. Chemistry of the Upper and Lower Atmosphere Theory, Experiments, and Applications . **Academic Press**, 2000.

FREITAS, A. de M.; SOLCI, M. C.. Caracterização do MP<sub>10</sub> e MP<sub>2,5</sub> e distribuição por tamanho de cloreto, nitrato e sulfato em atmosfera urbana e rural de Londrina. **Química Nova**, [S.L.], v. 32, n. 7, p. 1750-1754, 2009. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422009000700013>.

GALVÃO FILHO, J. B.. **POLUIÇÃO DO AR**. Aspectos Técnicos e Econômicos do Meio Ambiente 21/08/89 A 01/09/89, 1989. 25 p. Disponível em: <https://www.consultoriaambiental.com.br/pdf/pdf-35.pdf>. Acesso em: 07 jun. 2021.

GERIS, R.; SANTOS, N. A. C.; AMARAL, B. A.; MAIA, I. S.; CASTRO, V. D.; CARVALHO, J. R. M.. Biodiesel de soja: reação de transesterificação para aulas práticas de química orgânica. **Química Nova**, [S.L.], v. 30, n. 5, p. 1369-1373, out. 2007. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422007000500053>.

GOLDEMBERG, J.. Biomassa e energia. **Química Nova**, [S.L.], v. 32, n. 3, p. 582-587, 2009. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422009000300004>.

Google Earth. **Localização**. 2019. Disponível em: [https://earth.google.com/web/search/terminal+de+%c3%b4nibus,+londrina+-PR/@-23.3081957,-51.1609412,580.73605187a,960.82439252d,35y,0h,45t,0r/data=CowBGmISXAoIMHg5NGViNDRhMTIIZWQyMzc5OjB4ZWJlYTc4NjU3YTU5MDU3MRIMB6FyAk83wCGxCXq5mZRJwCohdGVybWluYWwgZGUgw7RuaWJ1cywgbG9uZHJpbmEgLVBSGAIgASImCiQJKCj\\_DUgAM0ARJij\\_DUgAM8AZ9S\\_\\_FE4qIsAhsozIzqM3W8AoAg](https://earth.google.com/web/search/terminal+de+%c3%b4nibus,+londrina+-PR/@-23.3081957,-51.1609412,580.73605187a,960.82439252d,35y,0h,45t,0r/data=CowBGmISXAoIMHg5NGViNDRhMTIIZWQyMzc5OjB4ZWJlYTc4NjU3YTU5MDU3MRIMB6FyAk83wCGxCXq5mZRJwCohdGVybWluYWwgZGUgw7RuaWJ1cywgbG9uZHJpbmEgLVBSGAIgASImCiQJKCj_DUgAM0ARJij_DUgAM8AZ9S__FE4qIsAhsozIzqM3W8AoAg). Acesso em: 10 dez. 2019.

GOLDEMBERG, J.; MOREIRA, J. R.. Política energética no Brasil. **Estudos Avançados**, [S.L.], v. 19, n. 55, p. 215-228, dez. 2005. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-40142005000300015>.

GONÇALVES, K. S.. **Queimadas e atendimentos ambulatoriais por doenças respiratórias em crianças no município de Porto Velho, Rondônia**. 2010. 143 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Saúde Pública e Meio Ambiente, Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Rio de Janeiro (RJ), 2010.

GUARIEIRO, L. L. N.; VASCONCELLOS, P, C.; SOLCI, M. C.. Air Pollutants from the Burning of Fossil Fuels and Biofuels: a brief review. **Revista Virtual de Química**, [S.L.], v. 3, n. 5, p. 1-12, dez. 2011. Sociedade Brasileira de Química (SBQ). <http://dx.doi.org/10.5935/1984-6835.20110047>.

GUIA ESTUDO - Química. **Chuva Ácida**: fenômeno causado pela emissão de poluentes na atmosfera. 2020. Disponível em: <https://www.guiaestudo.com.br/chuva-acida>. Acesso em: 07 jun. 2021.

HAJAT, S.; HAINES, A.; ATKINSON, R. W.; BREMNER, S. A.; ANDERSON, H. R.; EMBERLIN, J.. Association between Air Pollution and Daily Consultations with General Practitioners for Allergic Rhinitis in London, United Kingdom. **American Journal of Epidemiology**, [S.L.], v. 153, n. 7, p. 704-714, 1 abr. 2001. Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.1093/aje/153.7.704>.

HETEM, I. G.. **Quantificação da contribuição veicular para as concentrações atmosféricas de material particulado fino e *black carbon* em São Paulo**. São Paulo, 2014, 96 p. Dissertação (Programa de pós-graduação em Ciências). Universidade de São Paulo, São Paulo.

HOBBS, P. V. **Introduction to atmospheric chemistry**. 1. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.

IAPAR. Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná. **Atlas Climático**. 2019. Disponível em: <http://www.idrparana.pr.gov.br>. Acesso em: 14 out. 2021.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades e Estados**. 2010. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 14 out. 2021.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Frota de veículos**. 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/londrina/pesquisa/22/0>. Acesso em: 06 jun. 2021.

INCA. Instituto Nacional de Câncer. **Fumaças de motores a diesel**. 2018. Disponível em: <https://www.inca.gov.br/exposicao-no-trabalho-e-no-ambiente/poluentes/fumacas-de-motores-a-diesel>. Acesso em: 06 jun. 2021.

INEA. Instituto Estadual do Ambiente. **Qualidade do Ar**. 2021. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/Portal/MegaDropDown/Monitoramento/Monitoramentodoar-EmiQualidade/Qualidoar/index.htm>. Acesso em: 06 jun. 2021.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Resumo do evento da tarde escura em São Paulo, 20 de agosto de 2019 e sua relação com as nuvens das queimadas**. 2019. Disponível em: [https://www.oeco.org.br/wp-content/uploads/2019/08/EventoNuvemEcuridaoFumaca\\_SaoPaulo\\_SP-1.pdf](https://www.oeco.org.br/wp-content/uploads/2019/08/EventoNuvemEcuridaoFumaca_SaoPaulo_SP-1.pdf). Acesso em: 31 ago. 2019.

JANSSEN, N.A.; GERLOFS-NIJLAND, M.E.; LANKI, T.; SALONEN, R.O.; CASSEE, F.; HOEK, G.; FISHER, P.; BRUNEKREEF, B.; KRZYZANOWSKI, M. Health effects of black. Copenhagen: **WHO Regional Office for Europe**, p. 1-86, 2012. Disponível em: [https://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0004/162535/e96541.pdf](https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0004/162535/e96541.pdf). Acesso em: 06 jun. 2021.

KEMP, D., D.. **Global Environment Issues - A Climatological Approach**. 1994 p. 1-241. Disponível em:

[http://dl.mozh.org/up/Global\\_Environmental\\_Issues\\_\\_A\\_Climatological\\_Approach.pdf](http://dl.mozh.org/up/Global_Environmental_Issues__A_Climatological_Approach.pdf)  
. Acesso em: 06 jun. 2021.

KNOTHE, G.. Biodiesel and renewable diesel: a comparison. **Progress In Energy And Combustion Science**, [S.L.], v. 36, n. 3, p. 364-373, jun. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pecs.2009.11.004>.

KUMAR, S.; MAHARANA, P.. Air quality and its impact on urban environment. **Science Direct**, Urban Ecology, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/black-carbon>. Acesso em: 07 jun. 2021.

LANDI, T. A. P.. **Avaliação de cenários para redução da poluição do ar no centro de Londrina-PR**. 2018. 58 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Departamento de Engenharia Ambiental Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina -PR, 2018. Disponível em: [http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/12123/1/LD\\_COEAM\\_2018\\_1\\_13.pdf](http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/12123/1/LD_COEAM_2018_1_13.pdf). Acesso em: 06 jun. 2021.

LIOU, K.N. **An Introduction to atmospheric radiation**. Academic Press, New York, 392p, 1980.

LIPPEL. **O que é Biomassa**. 2021. Disponível em: <https://www.lippel.com.br/artigos-academicos/o-que-e-biomassa/>. Acesso em: 07 jun. 2021.

LOPES, K.; MARTINS, E. M.; MIRANDA, R. L. M.. A Potencialidade Energética da Biomassa no Brasi. **Revista Desenvolvimento Socieconômico em Debate (Rdsd)**, Joinville (SC), v. 5, n. 1, p. 94-106, 2019.

LOPES, V. A.; BAÔ, R. Z.. Estudos visando a síntese de biodiesel a partir do óleo de coco verde. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, [S.L.], p. 17-30, 8 jun. 2020. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo Do Conhecimento. <http://dx.doi.org/10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-quimica/sintese-de-biodiesel>.

LOUREIRO, L. N.. **Panorâmica sobre emissões atmosféricas estudo de caso: avaliação do inventário emissões atmosféricas da região metropolitana do rio de janeiro para fontes móveis**. 2005. 171 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro - RJ, 2005.

LUZ JUNIOR, L. F. de L.; KAMINSKI, M.; KOZAK, R. H.; NDIAYE, P. M.. Bioetanol, Biodiesel e Biocombustíveis: Perspectivas para o Futuro. **Ipea - Regional, Urbano e Ambiental**, p. 53-57, 03 dez. 2009. Disponível em: [http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/5488/1/BRU\\_n3\\_bioetanol.pdf](http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/5488/1/BRU_n3_bioetanol.pdf). Acesso em: 06 jun. 2021.

MANTOVANI, I. S.. **O impacto de medidas restritivas devido à pandemia por Covid-19 nas concentrações de poluentes atmosféricos em cidade de médio porte**. 2021. 56 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Química,

Departamento de Química, Universidade Estadual de Londrina, Londrina (PR), 2021.

MARCAHO, T.. **Queimadas na Amazônia provocam "corredor de fumaça" na América do Sul**. 2019. Disponível em: <https://noticias.uol.com.br/meio-ambiente/ultimas-noticias/redacao/2019/08/20/queimadas-na-amazonia-provocam-corredor-de-fumaca-na-america-do-sul.htm>. Acesso em: 31 ago. 2021.

MARTINS, L. D.; SILVA JÚNIOR, C. R.; SOLCI, M. C.; PINTO, J. P.; SOUZA, D. Z.; VASCONCELLOS, P.; GUARIEIRO, A. L. N.; GUARIEIRO, L. L. N.; SOUSA, E. T.; ANDRADE, J. B. de. Particle emission from heavy-duty engine fuelled with blended diesel and biodiesel. **Environmental Monitoring And Assessment**, [S.L.], v. 184, n. 5, p. 2663-2676, 29 jun. 2011. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10661-011-2142-3>.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Qualidade do Ar**. 2021. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar.html#:~:text=A%20polui%C3%A7%C3%A3o%20atmosf%C3%A9rica%20pode%20ser,seguran%C3%A7a%2C%20ao%20uso%20e%20gozo..> Acesso em: 06 jun. 2021.

MME. Ministério de Minas e Energia. **Biodiesel**. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-e-fornecimento-de-biocombustiveis/biodiesel>. Acesso em: 06 jun. 2021.

MME. Ministério de Minas e Energia. **Bioeconomia**. 2008. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/>. Acesso em: 06 jun. 2021.

MS. Ministério da Saúde. **Riscos ambientais e a saúde humana**. 2021. Disponível em: <https://antigo.saude.gov.br/vigilancia-em-saude/vigilancia-ambiental/vigiar/riscos-ambientais-e-a-saude-humana>. Acesso em: 24 jun. 2021.

NEGRI, J. C.. **Modelo preditivo da emissão e dispersão do NOx gerado em usinas termoeletricas como instrumento de análise de inserção e capacidade de suporte regional da qualidade do ar**. 2002. 234 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo (SP), 2002.

NETO, B. B.; SCARMINO, I. S.; BRUNS, R. E.; **Como Fazer Experimentos**. 2010. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788577807130/>. Acesso em: 31 ago. 2021.

NIOSH. U.S. National Institute for Occupational Safety and Health. **NIOSH 5506 - Polynuclear aromatic hydrocarbons by HPLC**, 1998.

PETROBRAS. Óleo Diesel - Informações Técnicas. 2014. Disponível em: <http://sites.petrobras.com.br/minisite/assistenciatecnica/public/downloads/diesel-manual.pdf>. Acesso em: 06 jun. 2021.

PINTO, J. P.; MARTINS, L. D.; SABINO, F. C.; AMADO, I. R.; SOLCI M. C.. Caracterização de MP<sub>2,5</sub> e MP<sub>10</sub> em Ar Ambiente de Estacionamento Fechado de

Estabelecimento Comercial em Londrina-Paraná. **Orbital: The Electronic Journal Of Chemistry**, Londrina, v. 6, n. 2, p. 1-7, jun. 2014. Disponível em: <http://orbital.ufms.br/index.php/Chemistry/article/view/566>. Acesso em: 06 jun. 2021.

PIRACELLI, V. P. **Emissões de poluentes atmosféricos em condições reais de pavimentação asfáltica. Material Particulado (MP), Black Carbon (BC) e Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPA)**. 2015. 68 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Química, Departamento de Química, Universidade Estadual de Londrina, Londrina (PR), 2015.

PIRACELLI, V.; AMADOR, I.; SABINO, F.; PINTO, J.; SILVA JÚNIOR, C.; SOLCI, M. C.. Emissões de poluentes atmosféricos em condições reais de pavimentação asfáltica: material particulado, *black carbon* e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos. **Química Nova**, [S.L.], v. 43, n. 4, p. 404-412, 03 abr. 2020. Sociedade Brasileira de Química (SBQ). <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170509>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/55Svg4fDsz9qRYhvhGw7vQh/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 06 jun. 2021.

PIVA, R. B. **Economia ambiental sustentável: os combustíveis fósseis e as alternativas energéticas**. 2010. 81 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciências Econômicas, Departamento de Ciências Econômicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (RS), 2010. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/26107/000755427.pdf>. Acesso em: 07 jun. 2021.

RAMOS, L. P.; KOTHE, V.; CÉSAR-OLIVEIRA, M. A. F.; MUNIZ-WYPYCH, A. S.; NAKAGAKI, S.; KRIEGER, N.; WYPYCH, F.; CORDEIRO, C. S.. Biodiesel: Matérias-Primas, Tecnologias de Produção e Propriedades Combustíveis. **Rev. Virtual Quim.**, [s. l.], v. 1, n. 9, p. 317-369, 9 dez. 2016. Disponível em: <http://static.sites.s bq.org.br/rvq.s bq.org.br/pdf/v9n1a20.pdf>. Acesso em: 06 jun. 2021.

RENOVABIO. **RenovaBio completa um ano e emerge como umas das políticas ambientais mais consistentes do Brasil**. 2021. Disponível em: <https://www.canalbioenergia.com.br/tag/renovabio/>. Acesso em: 06 jun. 2021.

RESENDE, Nerley. **Paraná está entre as regiões afetadas pelo corredor de fumaça que vem da Amazônia**. 2019. Disponível em: [https://www.bemparana.com.br/noticia/parana-esta-entre-as-regioes-afetadas-pelo-corredor-de-fumaca-que-vem-da-amazonia#.YS1L899v\\_IU](https://www.bemparana.com.br/noticia/parana-esta-entre-as-regioes-afetadas-pelo-corredor-de-fumaca-que-vem-da-amazonia#.YS1L899v_IU). Acesso em: 31 ago. 2021.

SABINO, F. C.. **Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA e Nitro-HPA) em fase gasosa e particulada proveniente de processos de combustão veiculares**. Londrina, 2015, 94 p. Tese (Programa de pós-graduação em Química) Universidade Estadual de Londrina, Londrina.

SALDIVA, P. H. N. **Efeitos dos poluentes no sistema respiratório**. Experimental Atmospheric Pollution Laboratory, Escola de Medicina / USP. CETESB Library, 1991.

SANTOS, D. R. F. dos; MANTOVANI, I. S.; SOUZA, J.; SOLCI, M. C.. Sazonalidade do Material Particulado fino e *Black Carbon* no ar ambiente de Londrina/Paraná / Seasonality of fine Particulate Material and *Black Carbon* in the ambient air of Londrina/Paraná. **Brazilian Journal of Development**, [S.L.], v. 6, n. 10, p. 84069-84086, 01 nov. 2020. Brazilian Journal of Development. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv6n10-736>.

SANTOS, D. S. **Estudo de caso: análise do sistema de gestão ambiental de uma carbonífera localizada no município de treviso - SC**. 2015. 41 f. TCC (Graduação) - Curso de Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis –SC.

SEBRAE. Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. O que é e como pode ser utilizado o biodiesel. **SEBRAE**. 2020. Disponível em: <https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/o-que-e-biodiesel,466d438af1c92410VgnVCM100000b272010aRCRD>. Acesso em: 06 jun. 2021.

SEGALIN, B.; GONÇALVES, F. L.T.; FORNARO, A.. *Black Carbon* em Material Particulado nas Residências de Idosos na Região Metropolitana de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [S.L.], v. 31, n. 3, p. 311-318, set. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778631320150145>.

SILVA JÚNIOR, C.; LEMOS, B.; PINTO, J.; AMADOR, I.; SOLCI, M.. *Black Carbon* Associated to PM<sub>1,0</sub> and PM<sub>2,5</sub>: mass variation due to combustion of biodiesel/diesel blends (b5, b6, b7 and b8). **Journal of the Brazilian Chemical Society**, [S.L.], v. 4, n. 30. Apr, 2019. <http://dx.doi.org/10.21577/0103-5053.20180209>.

SILVA JÚNIOR, C. R.. **Emissões atmosféricas decorrentes da combustão do diesel: Aldeídos e HPAs**. 2009. 52 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Mestrado em Química de Recursos Naturais, Departamento de Química, Universidade Estadual de Londrina (UEL), Londrina (PR), 2009.

SILVA JÚNIOR, C. R.. **Poluentes atmosféricos nas fases gasosa e Particulada Fina (MP<sub>1,0</sub> e MP<sub>2,5</sub>) provenientes da combustão de misturas biodiesel/diesel**. 2018. 116 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Química em Associação (UELUEPG- UNICENTRO), Departamento de Química, Universidade Estadual de Londrina, Londrina (PR), 2018.

SILVA, A. M. C.; MATTOS, I. E.; FREITAS, S. R.; LONGO, K. M.; HACON, S. S.. Material particulado (PM<sub>2,5</sub>) de queima de biomassa e doenças respiratórias no sul da Amazônia brasileira. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, [S.L.], v. 13, n. 2, p. 337-351, jun. 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1415-790x2010000200015>.

SILVA, N. L.; MACIEL, M. R. W.. **Produção de biodiesel: processo e caracterizações**. 2010. 201 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Química, Área de Concentração: Desenvolvimento de Processos Químicos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas (SP), 2010. Disponível em: [http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/266978/1/Silva\\_NiveadeLimad](http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/266978/1/Silva_NiveadeLimad)

a\_D.pdf. Acesso em: 06 jun. 2021.

SILVA, R. L.. Bioenergia d a Biomassa Residual: Potencial Energético da Combustão da Casca de Arroz em Dourados - MS e Região. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, [s. l], v. 5, p. 91-105, jan. 2016. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/rber/article/view/43916/pdf>. Acesso em: 07 jun. 2021.

SIMS, R. E. H.; HASTINGS, A.; SCHLAMADINGER, B.; TAYLOR, G.; SMITH, P.. Energy crops: current status and future prospects. **Global Change Biology**, [S.L.], v. 12, n. 11, p. 2054-2076, 10 maio 2006. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01163.x>.

TARGINO, A. C.; KRECL, P.. ATMOSPHER. Laboratory For Urban Air Pollution And Climate. **Artigo científico mostra os responsáveis pela poluição do ar em Londrina**. 2015. Disponível em: <http://atmospher.org/artigo-cientifico-mostra-os-responsaveis-pela-poluicao-do-ar-em-londrina/>. Acesso em: 07 jun. 2021.

TAVARES JUNIOR, M.; PINTO, J. P.; SOUZA, A. L.; SCARMINIO, I. S.; SOLCI, M. C.. Emission of polycyclic aromatic hydrocarbons from diesel engine in a bus station, Londrina, Brazil. **Atmospheric Environment**, v. 38, n. 30, p. 5039-5044, 2004.

TOLMASQUIM, M. Perspectivas e planejamento do setor energético no Brasil. **Estudos Avançados**, vol. 26, n. 74, p. 247-260, 2012.

TRAPP, G. S.; RODRIGUES, L. H.. Avaliação do custo sistêmico total da geração de energia eólica em face da substituição das fontes hidrelétrica e termoelétrica considerando as externalidades socioeconômicas e ambientais. **Gestão & Produção**, [S.L.], v. 23, n. 3, p. 556-569, 7 jul. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0104-530x2028-15>.

UBRABIO. União Brasileira do Biodiesel e Bioquerosene. **Biodiesel: B11 pode estar nos postos brasileiros em setembro**. 2019. Disponível em: <https://ubrablo.com.br/2019/08/05/biodiesel-b11-estara-nos-postos-brasileiros-em-setembro/>. Acesso em: 06 jun. 2021.

UBRABIO. União Brasileira do Biodiesel e Bioquerosene. **Brasil é líder mundial no setor de agroenergia**. 2012. Disponível em: <https://ubrablo.com.br/2011/12/29/brasil-e-lider-mundial-no-setor-de-agroenergia/>. Acesso em: 06 jun. 2021.

UBRABIO. União Brasileira do Biodiesel e Bioquerosene. **O que é Biodiesel**. 2021. Disponível em: <https://ubrablo.com.br/o-que-e-biodiesel/>. Acesso em: 06 jun. 2021.

UEL. Universidade Estadual de Londrina. **O sítio Urbano**. 2021. Disponível em: <http://www.uel.br/revistas/atlasambiental/NATURAL/SITIOURBANO.htm>. Acesso em: 07 jun. 2021.

UK AIR. Assessment Of Smoke Stains. **EEL 43D Reflectometer**. Disponível em: <http://uk-air.defra.gov.uk/assets/documents/reports/empire/smkman/sch7.html>. Acessado em: 10 dez. 2021.

VIAN, C. E. F.; MORAES, G. I.. **Bioenergia: potenciais, problemas e decisões para a viabilização social e econômica**. XLVI Congresso da Sociedade Brasileira de Economia Administração e Sociologia Rural. 2008. Disponível em: <https://ideas.repec.org/p/ags/sbrfsr/114128.html>. Acesso em: 07 jun. 2021.

VIDAL, M. F.. **Produção e uso de Biocombustíveis no Brasil**. N° 79. Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste - Etene, 2019. 13 p. Disponível em: [https://www.bnb.gov.br/documents/80223/5014256/78\\_Biocombustiveis.pdf/e0dc0c8c-e995-16ec-d63c-d477f80e0131](https://www.bnb.gov.br/documents/80223/5014256/78_Biocombustiveis.pdf/e0dc0c8c-e995-16ec-d63c-d477f80e0131). Acesso em: 06 jun. 2021.

WHO. World Health Organization. Air quality guidelines for Europe. Copenhagen, 2000.

WHO. World Health Organization. **WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide**. 2005. Disponível em: [https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69477/WHO\\_SDE\\_PHE\\_OEH\\_06.02\\_eng.pdf;jsessionid=407F04BDD02334FB5CA38E53E0A8D0EC?sequence=1](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69477/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf;jsessionid=407F04BDD02334FB5CA38E53E0A8D0EC?sequence=1). Acesso em: 06 jun. 2021.

WHO. World Health Organization. **World Health Assembly closes, passing resolutions on air pollution and epilepsy**. 2015. Disponível em: <https://www.who.int/home/cms-decommissioning>. Acesso em: 24 jun. 2021.

WRM. Movimento Mundial Pelas Florestas Tropicais. **Biomassa e Bioenergia**. 2013. Disponível em: <https://wrm.org.uy/pt/artigos-do-boletim-do-wrm/secao1/biomassa-e-bioenergia/>. Acesso em: 07 jun. 2021.