

***Black carbon* associado ao MP_{1,0} e MP_{2,5}: comparativo em relação à combustão de misturas biodiesel/diesel (B5 a B12)**

Black carbon associated with PM_{1,0} and PM_{2,5}: comparison in relation to the combustion of biodiesel/diesel blends (B5 to B12)

Andressa Ferreira Pimenta^{1*}, Igor Soares Mantovani¹, Maria Cristina Solci¹

RESUMO

O presente estudo tem como objetivo quantificar os teores de *Black Carbon* (BC), associados ao material particulado fino (MP_{1,0} e MP_{2,5}) e sua variabilidade durante a combustão das misturas biodiesel/diesel (B10 e B11) utilizadas em Londrina-PR região central. As amostragens foram realizadas em 2019 dentro de um terminal de ônibus semifechado e em ambiente externo, simultaneamente. Conclui-se que o MP fino proveniente da combustão de biodiesel/diesel B10 e B11 coletado no interior da rodoviária, para MP_{1,0} e MP_{2,5} diminuiu em relação ao B3, B5, B6, B7 e B8, mas quando comparado ao B12, os valores de concentração aumentaram cerca de 33% (de B10 para B12) e 49% (de B11 para B12). Para MP_{2,5}, a diferença ficou em torno de 21% (de B10 para B12) e 37% (de B11 para B12). Em geral, a concentração de MP fino diminui até B10 e B11 e aumenta novamente em B12, mas a relação MP_{1,0}/MP_{2,5} aumentou, mostrando o aumento de MP_{1,0} na fração fina de MP. Quanto às análises de BC, pode-se concluir que BC foi determinado nas frações de material particulado fino tanto em TCUL quanto em MHL; em geral, na comparação entre as amostras, houve diminuição das relações BC/MP.

Palavras-chave: Combustão; Emissões veiculares; Poluentes atmosféricos; Biocombustíveis.

ABSTRACT

The present study aims to quantify the contents of Black Carbon (BC), associated with fine particulate matter (MP_{1,0} and PM_{2,5}) and its variability during the combustion of biodiesel/diesel blends (B10 and B11) used in Londrina- PR central region. The samplings were carried out in 2019 inside a semi-closed bus station and in an external environment, simultaneously. It is concluded that the fine PM from the combustion of biodiesel/diesel B10 and B11 collected inside the bus station, for PM_{1,0} and PM_{2,5} decreased in relation to B3, B5, B6, B7 and B8, but when compared to B12, the concentration values increased by about 33% (from B10 to B12) and 49% (from B11 to B12). For PM_{2,5}, the difference was around 21% (from B10 to B12) and 37% (from B11 to B12). In general, the concentration of fine MP decreases until B10 and B11 and increases again in B12, but the MP_{1,0}/MP_{2,5} ratio increased, showing the increase of MP_{1,0} in the fine fraction of MP. As for the BC analyses, it can be concluded that BC was determined in the fine particulate matter fractions in both TCUL and MHL; in general, when comparing samples, there was a decrease in BC/MP ratios.

Keywords: Combustion; Vehicle emissions; Atmospheric pollutants; Biofuels.

¹ Universidade Estadual de Londrina 1.

*E-mail: drefpimenta@gmail.com

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 Decenal de Expansão de Energia (PDE) (EPE, 2022). A projeção para o país em 2030 é de redução na utilização de petróleo (28%), com expressivo aumento do aproveitamento de recursos renováveis, diminuindo assim a utilização de 55% (2008) de fontes não renováveis para 53,4% (2030) (EPE, 2008; MME, 2008; EMPRAPA, 2020).

A mistura diesel/biodiesel, comumente comercializada apenas como diesel, é um combustível que é constituído em 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), sendo denominado de B_n, onde n é a porcentagem de biodiesel na mistura. (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 principalmente devido à veículos pesados que utilizam misturas diesel/biodiesel sendo emissores de partículas finas (MP_{1,0} e MP_{2,5}), óxidos de nitrogênio (NO_x), 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 de combustíveis passou a ser utilizada (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 implementou o uso de 2% de biodiesel ao diesel vendido em território nacional (B2). Esse percentual aumentou gradativamente e em 2021, o diesel vendido nos postos de combustível no Brasil possuía 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 interação entre fontes poluidoras e a atmosfera determina a qualidade do ar. A poluição do ar altera a composição natural da atmosfera necessitando do estabelecimento de níveis de referência de forma a identificar a variação da qualidade do ar e suas consequências ao ambiente e principalmente danos à saúde (PINTO et al., 2014; INEA, 2021; MMA, 2021).

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 BC 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 a presença de BC acompanhando a emissão de MP (OMS, 2021).

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).

Estudos realizados em terminais de ônibus reproduzem grande parte das emissões de veículos em condições normais de operação. O terminal urbano de Londrina, por se tratar de um local semifechado, garante ao estudo analisar o impacto de apenas uma fonte de emissão. (TAVARES et al., 2004; 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 o ano de 2002, demonstrando a presença de diversos componentes poluentes.

A fim de manter o acompanhamento das emissões pela combustão de misturas biodiesel/diesel de ônibus no interior do terminal central de Londrina e em seu entorno, o presente estudo visa, pela primeira vez, quantificar BC, MP_{1,0} e MP_{2,5} (partículas com diâmetro $\leq 1,0$ e $2,5 \mu\text{m}$, respectivamente) durante o uso 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.

METODOLOGIA

LOCAIS DE AMOSTRAGEM

As amostragens foram realizadas em dois ambientes: no piso inferior do Terminal de Ônibus Urbano Central de Londrina (TCUL), local semifechado, 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 114 m, ambos localizados em avenida de alto tráfego veicular misto.

No TCUL, os ônibus são separados por linhas e divididos em dois andares, sendo o andar superior aberto e o andar inferior, piso térreo, classificado como local semifechado. As amostragens foram realizadas no piso térreo com saída dos ônibus para a avenida principal de acesso. As amostragens realizadas no interior do TCUL são de fonte exclusiva da combustão de diesel/biodiesel dos motores dos ônibus. O terminal permanece em funcionamento por 24h, com redução no número de veículos durante a madrugada. De acordo com a Companhia Municipal de Trânsito e Urbanismo de Londrina (CMTU), em 2020 mais de 100.000 pessoas circularam no terminal em dias úteis, vale ressaltar que o local não possui equipamentos para circulação de ar.

AMOSTRAGEM DO MATERIAL PARTICULADO FINO (MP_{1,0} E MP_{2,5})

Duas campanhas de amostragens foram realizadas, sendo a primeira em julho e agosto de 2019 (B10) e a segunda em 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_{1,0} e MP_{2,5}, foram utilizados ciclones (MP_{1,0} URG-2000-30EH e MP_{2,5} URG-2000-30EH, URG Corporation, EUA) operados a vazão de 16,7 L min⁻¹ usando filtros de quartzo de 47 mm (Sartorius, Alemanha). Os amostradores no TCUL foram montados nas janelas internas da sala, voltadas à área de embarque e desembarque de passageiros a uma altura aproximada de 3 metros do piso do térreo. No MHL, por ser um ambiente monitorado 24h, os amostradores foram instalados no pátio localizado na área externa do local.

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).

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 ± 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).

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 µg.

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). 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 (µg m⁻³);

R = Reflectância (%);

A = Área de impactação dos filtros (12,6 cm²);

V = Volume total de ar amostrado durante a coleta (m³).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

ANÁLISE GRAVIMÉTRICA DE MP_{1,0} E MP_{2,5}

Foram coletadas 125 amostras de material particulado fino. Na primeira campanha (B10) foram obtidas 62 amostras sendo 30 amostras coletadas no TCUL e 32 coletadas no MHL. Na segunda campanha foram obtidas 63 amostras, 43 amostras com os ônibus em uso de B10 e 20 amostras de B11. As medidas gravimétricas foram realizadas após ambientação dos filtros, pela diferença de massa do filtro tratado e o filtro coletado e volume de ar amostrado, foram calculadas as concentrações ($\mu\text{g m}^{-3}$) de MP_{1,0} e MP_{2,5}. Os resultados são apresentados nas Tabela 1 (Terminal de Ônibus Urbano Central de Londrina – ambiente semifechado) e Tabela 2 (Museu Histórico de Londrina – ambiente aberto). 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.

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

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

¹ B/D = Biodiesel/Diesel.

² Mín. = Mínimo; Máx. = Máximo.

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

Fonte: Própria autora, (2020).

De acordo com a Tabela 1, pode-se observar que houve aumento nos valores máximos de $MP_{1,0}$ 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 $MP_{1,0}$ de cerca de 24% (17,3 para 13,1 $\mu\text{g m}^{-3}$). Já para $MP_{2,5}$, as concentrações máximas não apresentaram variações expressivas com a mudança de B10 para B11. As razões $MP_{1,0}/MP_{2,5}$ 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 $MP_{1,0}$ da campanha 1 para a 2, e redução da contribuição de $MP_{1,0}$ na troca de B10 para B11.

Foram comparadas as medidas de concentração de $MP_{1,0}$ e $MP_{2,5}$ 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, nos anos 2014, 2016 e 2017, e medidas realizadas posteriormente a este trabalho também no mesmo local, com o uso da mistura B12, em 2020 (Tabela 2).

Tabela 2 – 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 ¹	Nº de Amostras	MP _{1,0} (µg m ⁻³) Mín. - Máx. ²	MP _{2,5} (µg m ⁻³) Mín. - Máx. ²	Razão MP _{1,0} / MP _{2,5}	Referência
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 ³	20	5,0 – 18,6	10,8 - 21,3	0,82	Mantovani, (2021).
B12p ⁴	21	9,2 – 21,7	11,3 – 33,9	0,83	Mantovani, (2021).

¹ B/D = Biodiesel/Diesel.

² Min. = Mínimo; Máx. = Máximo.

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

⁴ 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 2, 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 foi 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 foi de 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 $\text{MP}_{1,0}$ e $\text{MP}_{2,5}$, para as campanhas realizadas no TCUL. Observa-se ainda que, entre os períodos de amostragem, a porcentagem de $\text{MP}_{1,0}$ em relação ao $\text{MP}_{2,5}$ esteve entre 59 e 90%, demonstrando que a fração de $\text{MP}_{1,0}$ representa a maior parte do $\text{MP}_{2,5}$.

Em 11 de março de 2020, iniciou-se o surto de COVID-19, sendo decretada pandemia mundial pela OMS (Organização Mundial da Saúde) (OPAS, 2020). 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 $\text{MP}_{1,0}$ e $\text{MP}_{2,5}$ 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 $\text{MP}_{1,0}$ e $17,4 \mu\text{g m}^{-3}$ para $\text{MP}_{2,5}$, ou seja, considerando a média das concentrações do $\text{MP}_{2,5}$ no período de quarentena, verifica-se que os níveis de concentração ultrapassaram os valores recomendados pela OMS (2021) de $15 \mu\text{g m}^{-3}$ em 24 horas; valores superiores aparecem em todo o período de coleta. 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 permitiu maior difusão e permanência no ar, além de alterar a imunidade do hospedeiro e contribuir para infecções virais respiratórias (MARTELLETTI; MARTELLETTI, 2020).

Para comparação do valor de concentração de MP fino encontrado no TCUL, entre diferentes fontes de emissão, medidas de MP_{1,0} e MP_{2,5} foram realizadas no Museu Histórico de Londrina. A Tabela 3 apresenta os dados coletados no MHL.

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

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

¹ B/D = Biodiesel/Diesel.

² Min. = Mínimo; Máx. = Máximo.

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

Fonte: Própria autora, (2020).

Quando comparados os dados obtidos no TCUL e no MHL, pode-se concluir que o TCUL pode ter influenciado as concentrações de MP existentes no MHL (emissões no entorno), pois o MHL está localizado a cerca de 114 m 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 redondezas 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. 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 µg m⁻³ e MP_{2,5} de 18,3 µg m⁻³; considerando as médias das concentrações do MP fino no período de quarentena, verifica-se que os níveis de concentração ultrapassaram os valores recomendados pela OMS (2021) de 15 g m⁻³ em 24 horas.

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). Os resultados são apresentados no Tabela 4.

Tabela 4 - Intervalo de concentração, média ± desvio padrão (%) (µg m⁻³) de BC_{1,0}, BC_{2,5} e razão BC_{1,0}/BC_{2,5} das amostras coletadas no TCUL utilizando misturas biodiesel/diesel (B10 e B11).

Mistura B/D ¹	BC _{1,0} (µg m ⁻³)		BC _{2,5} (µg m ⁻³)		Razão BC _{1,0} /BC _{2,5}
	Mín. - Máx. ²	X ± σ _n (%) ³	Mín. - Máx. ²	X ± σ _n (%) ³	
1º Coleta B10 (2019)	1,1 - 4,1	2,7 ± 1,11 40,5%	1,2 - 4,2	3,0 ± 1,1 37,1%	0,92
2º Coleta B10 (2019)	0,9 - 6,8	2,8 ± 1,6 56,3%	1,0 - 7,0	2,9 ± 1,6 57,4%	0,96
2ª Coleta B11 (2019)	1,3 - 3,1	2,1 ± 0,9 40,4%	1,3 - 3,2	2,2 ± 0,9 40,0%	0,96

¹ B/D = Biodiesel/Diesel.

² Mín. = Mínimo; Máx. = Máximo.

³ X = Média; σ_n = Desvio Padrão; Coeficiente de Variação (%) dada por: ((Desvio Padrão * 100) / Média).

Fonte: Própria autora, (2020).

De acordo com a Tabela 4, pode-se inferir que BC predominou a fração $BC_{1,0}$, com razão $BC_{1,0}/BC_{2,5}$ variando de 0,92 a 0,96, respectivamente 92% e 96%. Avaliando os valores máximos de $BC_{2,5}$, na 2ª coleta B10 se sobressaiu, quando comparada a B10 da 1ª 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 2ª campanha (de $7,0 \mu\text{g m}^{-3}$ para $3,2 \mu\text{g m}^{-3}$), houve redução de cerca de 56%.

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 5).

Tabela 5 – Concentrações médias de $BC_{1,0}$, $MP_{1,0}$, $BC_{2,5}$ e $MP_{2,5}$ dentro do TCUL com combustão de misturas biodiesel/diesel B5, B6, B7, B8, B10 e B11.

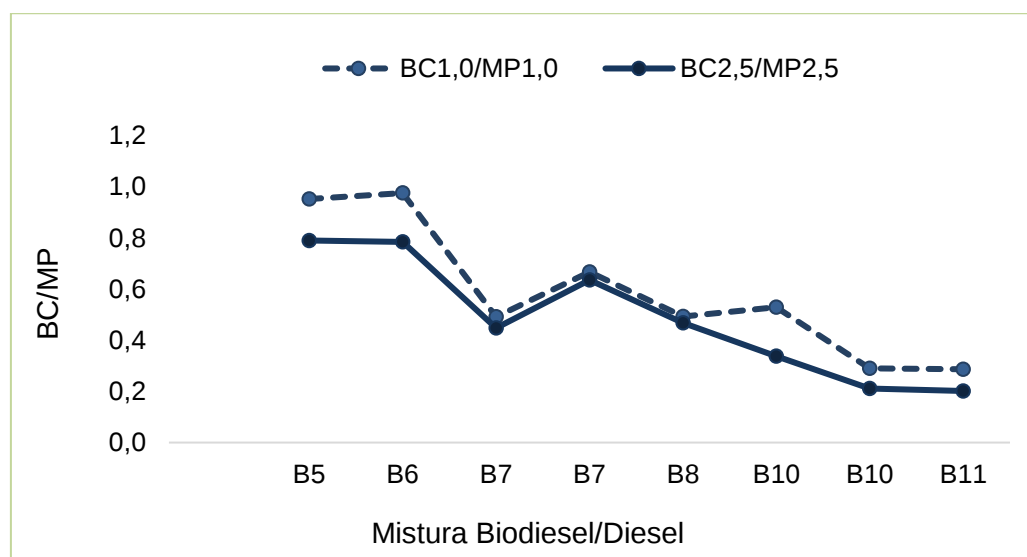
B/D ¹	BC _{1,0}	MP _{1,0}	BC _{2,5}	MP _{2,5}	Referência
	Média (µg m ⁻³)				
B5	18,3	19,2	18,9	23,9	Silva Júnior et. al., (2019).
B6	24,8	25,4	24,9	31,7	Silva Júnior et. al., (2019).
B7	8,7	17,7	10,8	24,1	Silva Júnior et. al., (2019).
B7	18,7	28	21,5	33,8	Silva Júnior et. al., (2019).
B8	10,9	22,1	11,6	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).

¹ B/D = Biodiesel/Diesel.

Fonte: Própria autora, (2020).

O Gráfico 1 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 1 – Variação da taxa de $BC_{1,0}/MP_{1,0}$ e $BC_{2,5}/MP_{2,5}$ para combustíveis B5, B6, B7 (duas campanhas), B8, B10 (duas campanhas) e B11, a partir de dados coletados no TCUL.



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

Os resultados apresentados na Tabela 5 e Gráfico 1 (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 $BC_{2,5}/MP_{2,5}$.

Na Tabela 6 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 (1º ou 2º), de acordo com o combustível utilizado (B10 ou B11).

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

Mistura B/D ¹	$BC_{1,0}$ ($\mu\text{g m}^{-3}$)		$BC_{2,5}$ ($\mu\text{g m}^{-3}$)		Razão $BC_{1,0}/BC_{2,5}$
	Mín. - Máx. ²	$\bar{X} \pm \sigma_n$ (%) ³	Mín. - Máx. ²	$\bar{X} \pm \sigma_n$ (%) ³	
1º Coleta B10 (2019)	0,4 - 1,8	$0,8 \pm 0,4$ 46,5%	0,5 - 2,0	$0,9 \pm 0,4$ 40,1	0,88
2º Coleta B10 (2019)	0,2 - 2,0	$0,8 \pm 0,5$ 60,8%	0,3 - 2,2	$0,9 \pm 0,8$ 54,8%	0,92

2º Coleta	0,2 - 0,8	0,5 ± 0,2	0,3 - 0,9	0,7 ± 0,3	0,81
B11 (2019)		44,0%		37,1%	

¹: B/D = Biodiesel/Diesel.

²: Min. = Mínimo; Máx. = Máximo.

³: X = Média; σ_n = Desvio Padrão; Coeficiente de Variação (%) dada por: ((Desvio Padrão * 100) / Média).

Fonte: Própria autora, (2020).

De acordo com a Tabela 6, pode-se inferir que BC predominou a fração BC_{1,0}, com razão BC_{1,0}/BC_{2,5} variando de 0,88 para 0,92 a 0,81, respectivamente 88%, 92% e 81%. Avaliando os valores máximos de BC_{2,5}, na 2º coleta B10 teve um aumento, quando comparada a B10 da 1º campanha (de 2,0 para 2,2 $\mu\text{g m}^{-3}$), observa-se diminuição de cerca de 9%; confrontando-se com B11 da 2º campanha (de 2,2 para 0,9 $\mu\text{g m}^{-3}$), houve redução cerca de 59%.

Para verificar variações 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_{1,0} e BC_{2,5} realizadas neste trabalho (B10 e B11) com medidas decorrentes do uso da mistura B12 biodiesel/diesel (Tabela 7).

Tabela 7 – Concentrações médias de BC_{1,0}, MP_{1,0}, BC_{2,5} e MP_{2,5} dentro do MHL com combustão de biodiesel B10 (duas campanhas), B11 e B12.

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

¹: B/D = Biodiesel/Diesel.

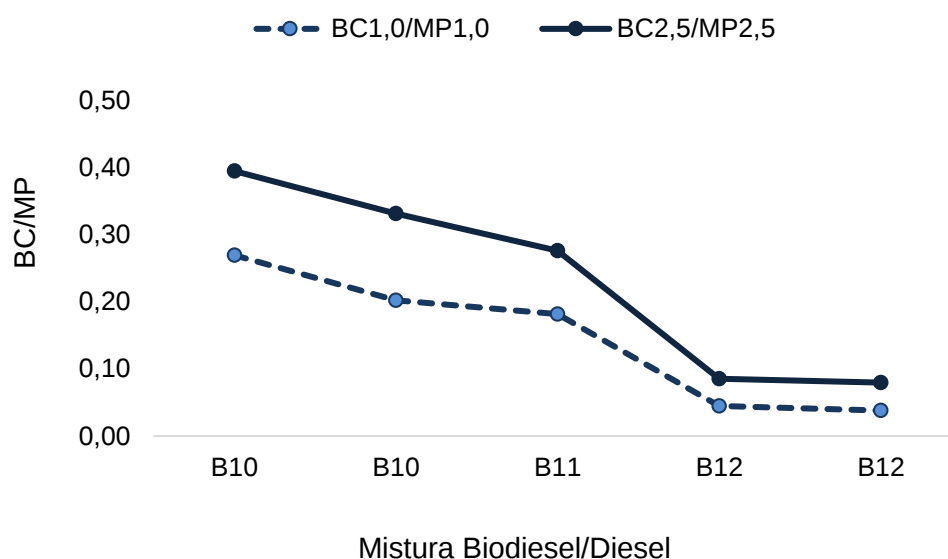
²: B12d = Uso da mistura biodiesel/diesel B12, durante o período de quarentena (02 de abril à 11 de abril de 2020).

³: 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 2 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 da COVI-19) observada no Museu Histórico de Londrina.

Gráfico 2 – 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 7 e Gráfico 2 (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).

CONCLUSÃO

Conclui-se que, a concentração do MP fino diminuiu até B10 e B11 e aumentou em B12. As razões $MP_{1,0}/MP_{2,5}$ aumentaram mostrando o incremento de $MP_{1,0}$ na fração fina do MP, tanto para o TCUL quanto para o MHL.

Quanto as análises de BC, podemos concluir que foi determinado BC nas frações do MP fino tanto no TCUL, quanto no MHL, de maneira geral, houve diminuição na razão $BC_{1,0}/MP_{1,0}$ e razão $BC_{2,5}/MP_{2,5}$.

De acordo com os resultados obtidos em ao longo dos anos acompanhando o incremento do biodiesel ao diesel, 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 e B12 obtiveram concentrações de MP superiores às concentrações de MP provenientes da combustão de misturas biodiesel/diesel B10 e B11.

REFERÊNCIAS

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

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.

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.

CMTU. Companhia Municipal de Trânsito e Urbanização de Londrina. Disponível em: <https://cmtu.londrina.pr.gov.br/>. Acesso em: 26 dez. 2020.

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.

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>.

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. **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. **Energia e Aquecimento Global**. 2021a. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdnenergia>. Acesso em: 06 jun. 2021.

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

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2024**. 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Decenal-de-Expansao-de-Energia-2024>. Acesso em: 26 dez. 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_{2.5} 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.

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>.

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.

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.

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. Acesso em: 06 jun. 2021.

LOPES, K.; MARTINS, E. M.; MIRANDA, R. L. M.. A Potencialidade Energética da Biomassa no Brasi. **Revista Desenvolvimento Socioeconômico 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>.

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.

MANTOVANI, I.; PIMENTA, A. F.; BIELESKI, I. C.; BEAL, A.; MARTINS, L. D.; SOLCI, M. C. O impacto de medidas restritivas devido à pandemia por COVID-19 nas concentrações de poluentes atmosféricos em cidade de médio porte. **Conjecturas**, [S.L.], v. 21, n. 6, p. 54-69, 12 nov. 2021. Uniao Atlantica de Pesquisadores. <http://dx.doi.org/10.53660/conj-294-316>.

MANTOVANI, I.; PIMENTA, A.; BIELESKI, I.; SOLCI, M. C. Qualidade do ar urbano durante restrições de mobilidade na pandemia por COVID-19 e as diretrizes globais de qualidade do ar da OMS 2021. **Concilium**, [S.L.], v. 22, n. 4, p. 1-14, 25 jun. 2022. Uniao Atlantica de Pesquisadores. <http://dx.doi.org/10.53660/clm-286-303>.

MARTELLETTI, L.; MARTELLETTI, P. Air Pollution and the Novel Covid-19

Disease: a Putative Disease Risk Factor. **SN Comprehensive Clinical Medicine**, vol. 2, no. 4, p. 383–387, 2020. <https://doi.org/10.1007/s42399-020-00274-4>.

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.

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

OPAS. Organização Pan-Americana da Saúde. **Histórico da pandemia de COVID-19**. 2020. Disponível em: <https://www.paho.org/pt/covid19/historico-da-pandemia-covid-19>. Acesso em: 26 jul. 2021.

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_{2,5} e MP₁₀ 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 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/55Svvg4fDsz9qRYhvhGw7vQh/?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.sbq.org.br/rvq.sbq.org.br/pdf/v9n1a20.pdf>. Acesso em: 06 jun. 2021.

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.

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_{1,0} e MP_{2,5}) 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 JÚNIOR, C.; LEMOS, B.; PINTO, J.; AMADOR, I.; SOLCI, M.. Black Carbon Associated to PM_{1,0} and PM_{2,5}: 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, A. M. C.; MATTOS, I. E.; FREITAS, S. R.; LONGO, K. M.; HAGON, S. S.. Material particulado (PM_{2,5}) 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_NiveadeLimada_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.

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

UK AIR. Assessment Of Smoke Stains. EEL 43D Reflectometer. Disponível em: <http://ukair.defra.gov.uk/assets/documents/reports/empire/smkman/sch7.html>> Acessado em: 10 dez. 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. 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. Acesso em: 06 jun. 2021.

WHO. World Health Organization. **WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide**. 2021. 300 p. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/345329/9789240034228-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 26 fev. 2022.

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.

Recebido em: 23/07/2022

Aprovado em: 25/08/2022

Publicado em: 28/08/2022