

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
CENTRO DE CIÊNCIAS DO AMBIENTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO AMBIENTE E
SUSTENTABILIDADE NA AMAZÔNIA

**O IMPACTO DA EMISSÃO DE MATERIAL PARTICULADO SOBRE A SAÚDE
RESPIRATÓRIA DA POPULAÇÃO DE MANAUS NO PERÍODO DE 2008 A 2019**

MANAUS – AM
2021

PATRY MARQUES BOSCA

**O IMPACTO DA EMISSÃO DE MATERIAL PARTICULADO SOBRE A SAÚDE
RESPIRATÓRIA DA POPULAÇÃO DE MANAUS NO PERÍODO DE 2008 A 2019**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia da Universidade Federal do Amazonas, como um dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Tatiana Schor

MANAUS - AM
2021

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Boscá, Patry Marques

B742i O impacto da emissão de material particulado sobre a saúde respiratória da população de Manaus no período de 2008 a 2019 / Patry Marques Boscá. 2021
152 f.: il. color; 31 cm.

Orientadora: Tatiana Schor
Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Economia Neoclássica. 2. Economia Ecológica. 3. Poluição do ar. 4. Problemas respiratórios. 5. Saúde Ambiental. I. Schor, Tatiana. II. Universidade Federal do Amazonas III. Título



Poder Executivo
Ministério de Educação
Universidade Federal do Amazonas
Programa de Pós-graduação em Ciências do Ambiente e
Sustentabilidade na Amazônia



Mestrado e Doutorado conceito 4 – Portaria MEC nº 609 de 14/03/2019, publicada no DOU em 18/03/2019.

Ata 383 da Defesa Pública da **Dissertação de Mestrado** do Sr. **Patry Marques Boscá**, aluno do Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia do Centro de Ciências do Ambiente da Universidade Federal do Amazonas, Área de Concentração em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia (CASA), realizada no dia **07 de abril de 2021**.

Aos **07 de abril de 2021**, às **09h horas**, sessão remota, realizou-se a **trecentésima octogésima terceira**, Defesa Pública de Dissertação de Mestrado, intitulada **O IMPACTO DA EMISSÃO DE MATERIAL PARTICULADO SOBRE A SAÚDE RESPIRATÓRIA DA POPULAÇÃO DE MANAUS NO PERÍODO DE 2008 A 2019**, sob a orientação da **Profa. Dra. Tatiana Schor**, do aluno, **Patry Marques Boscá** em conformidade com o Art. 55 do Regimento Interno do PPG/CASA, como parte final de seu trabalho para a obtenção do grau de **MESTRE EM CIÊNCIAS DO AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE NA AMAZÔNIA**, Área de Concentração em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia (CASA). A comissão Julgadora foi constituída pelos seguintes membros: Prof. Dr. Rodrigo Augusto Ferreira de Souza, Prof. Dr. Carlos Edvar de Carvalho Freitas e Prof. Dr. Danilo Egle Santos Barbosa. A presidente da comissão julgadora deu início à sessão, convidando os membros da Comissão e o Mestrando a tomarem seus lugares. Em seguida, a senhora presidente informou a todos o procedimento do exame. A palavra foi facultada ao candidato para apresentação de uma síntese do seu estudo. Retomada a sessão, foram apresentadas as arguições da comissão e o candidato respondeu às perguntas formuladas pelos membros da Comissão Julgadora. Após a apresentação e arguição pelos membros da Comissão Julgadora, a presidente da sessão solicitou a saída de todos os presentes para que a comissão pudesse reunir privadamente. Finda a reunião a presidente foi comunicado pelo representante da comissão do resultado do julgamento, na presença dos demais membros. A presidente então convidou a todos os presentes a retomarem ao recinto e em seguida proclamou o resultado informando ao público presente e ao candidato que seu trabalho fora aprovado, com a Média Final **10,0 (DEZ)**. A sessão foi encerrada, Eu Luís Guilherme Magalhães Queiroz, secretário do PPG/CASA, lavrei a presente, sem rasuras, que vai assinada por mim, pelos membros da Comissão Julgadora e pelo Mestrando.

Manaus (AM), 07 de abril de 2021.

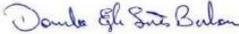

.....
Prof. Dra. Tatiana Schor – Presidente
CPF nº 258.027.138-44
Instituição: Universidade Federal do Amazonas

Comissão Julgadora:


.....
Prof. Dr. Rodrigo Augusto Ferreira de Souza
CPF nº 168.595.448-05
Instituição: Universidade Estado do Amazonas


.....
Prof. Dr. Carlos Edvar de Carvalho Freitas
CPF nº 202.479.012-87
Instituição: Universidade Federal do Amazonas


Patry Marques Boscá
Mestrando


.....
Prof. Dr. Danilo Egle Santos Barbosa
CPF nº 739.850.902-20
Instituição: Universidade Federal do Amazonas


Luís Guilherme Magalhães Queiroz
Secretário do PPGCASA

Ao meu filho, Heitor

AGRADECIMENTOS

Agradeço:

À Superintendência da Zona Franca de Manaus, pela concessão do afastamento para a realização do curso de mestrado;

À minha família, pela paciência e colaboração;

Aos professores e colegas do PPGCASA, pelo aprendizado e apoio;

À Secretaria do PPGCASA, cujos colaboradores, sempre diligentes e solícitos, ajudaram-me a superar diversas dificuldades;

À Gercy Rodrigues dos Santos, membro do NEPECAB, sempre gentil, atenciosa e extremamente competente;

À minha orientadora, Professora Tatiana Schor, pelo direcionamento e pelas intervenções sempre assertivas;

À Professora Paola Verri de Santana, pelo acolhimento e ensinamentos durante o período de estágio docência;

À Banca de Qualificação e de Defesa, Professores: Carlos Edwar, Danilo Egle, Rodrigo Souza, Jessé Souza e Marcelo Pereira, pela disponibilidade e pelas excelentes e contundentes contribuições.

O que pertence a todos não é tratado com muito cuidado, porque todos os homens dão mais importância à sua propriedade do que àquilo que possuem em coletivo.

Aristóteles

RESUMO

O avanço do debate acerca da questão ambiental reorientou a teoria econômica tradicional, no sentido de comportar na base analítica da Teoria Neoclássica o problema da escassez dos bens e serviços ecossistêmicos. Em contraponto à Economia Ambiental, a Economia Ecológica refuta a hipótese de que o avanço tecnológico possa oferecer soluções de forma indeterminada aos limites que o meio ambiente oferece ao crescimento econômico. Ao dilema tradicional que há entre compatibilização entre economia e meio ambiente, acrescentam-se os problemas de saúde a que as populações das grandes cidades estão expostas em virtude do quanto e de como os processos antrópicos estão se expandindo nos grandes centros urbanos, como é o caso de Manaus. A hipótese é a de que fontes de material particulado presentes na cidade, tais como: a frota de veículos, a geração de energia termelétrica baseada em combustíveis fósseis, o refino de petróleo e a quantidade de queimadas influenciam a quantidade de internamentos por problemas respiratórios na cidade. Com base nessa tríade: Economia, Meio Ambiente e Saúde, esta pesquisa teve como objetivos: (i) analisar o modo como as principais ações antrópicas de poluição do ar evoluíram em Manaus; (ii) estimar o montante de emissão de material particulado anual das principais atividades industriais urbanas potencialmente poluidoras nos anos de 2014 a 2019 e; (iii) verificar se a concentração de material particulado na atmosfera de Manaus esteve associada à quantidade de internamentos por problemas respiratórios na cidade no período de 2008 a 2019. Para tanto, foi feito um resgate histórico do processo de transição da matriz energética da capital, a caracterização da quantidade e da composição da frota, a quantificação e a descrição das características do processo de refino em Manaus. O inventário de emissão de material particulado foi feito a partir de estimativas baseadas no método de utilização de fatores de emissão, que representam uma média de emissão de poluentes de diversas fontes. Por fim, foram testados Modelos Lineares, Modelos Generalizados Lineares e Modelos Aditivos Generalizados para verificar qual o melhor ajuste para verificar se houve associação entre a concentração de material particulado na atmosfera e o número de internamentos em Manaus, bem como, se havia associação entre a evolução das atividades antrópicas e o número de internamentos por doenças respiratórias no período de 2008 a 2019. Verificou-se que a geração de energia termelétrica foi a principal fonte de emissão de material particulado em Manaus durante quase todo o período analisado, mas com sucessivas e expressivas reduções a partir da introdução do gás natural na matriz energética da cidade. No último ano da série, a principal fonte de emissão de material particulado em Manaus foi a frota de veículos, uma tendência condizente com grandes centros urbanos do Brasil e do mundo. Relativamente aos internamentos, os modelos aditivos generalizados com regressão de Poisson, com curvas de suavização de ajustes de sazonalidade por fatores climáticos e indicadores de meses e anos, foi o que apresentou resultados mais consistentes. Não foi possível estabelecer associação entre concentração de PM_{2,5} e quantidade de internamentos, nem pelo total, nem pela quantidade de ocorrências por faixas etárias. Estes episódios parecem ser melhor explicados por casos de Influenza, cuja sazonalidade apresenta picos nos meses de chuva na Amazônia. No entanto, o modelo GAM apresentou forte associação entre a intensidade da geração de energia termelétrica, da frota de veículos, da quantidade de queimadas e da própria concentração de PM_{2,5}, o que pode indicar que outro poluente atmosférico fruto da atividade econômica urbana pode influenciar em atendimentos hospitalares por problemas respiratórios na cidade de Manaus. A ausência de dados observacionais relativos à caracterização da frota de veículos e da concentração de poluentes na atmosfera de Manaus, podem representar algum tipo de fragilidade nos resultados apresentados.

Palavras-chave: Economia Neoclássica. Economia Ecológica. Poluição do ar. Problemas respiratórios. Saúde Ambiental.

ABSTRACT

The advancement of the debate about environmental issue has reoriented traditional economic theory, in the sense that the problem of scarcity of ecosystem goods and services is based on the analytical basis of Neoclassical Theory. In contrast to Environmental Economics, Ecological Economics refutes the hypothesis that technological advances can offer solutions in an undetermined way to the limits that the environment offers to economic growth. In addition to the traditional dilemma about compatibility between the economy and the environment, the health problems to which the populations of large cities are exposed are added due to how much and how anthropic processes are expanding in large urban centers, such as the case of Manaus. The hypothesis is that sources of particulate matter present in the city, such as: the vehicle fleet, the generation of fossil fuel-based thermoelectric energy, the refining of oil and the number of burnings influence the number of hospitalizations due to respiratory problems in the city. Based on this triad: Economy, Environment and Health, this research aimed to: (i) analyze how the main anthropic air pollution actions evolved in Manaus; (ii) estimate the amount of annual particulate matter emission from the main potentially polluting urban industrial activities in the years 2014 to 2019 and; (iii) verify if the concentration of particulate matter in the atmosphere of Manaus were associated with the number of hospitalizations due to respiratory problems in the city in the period from 2008 to 2019. To this, a historical review was made of the transition process of the capital's energy matrix, the characterization of the quantity and composition of the fleet, the quantification and description of the characteristics of the refining process in Manaus. The particulate matter emission inventory was made based on estimates based on the method of using emission factors, which represent an average emission of pollutants from different sources. Finally, Linear Models, Generalized Linear Models and Generalized Additive Models were tested to verify the best fit to verify if there was an association between the concentration of particulate matter in the atmosphere and the number of hospitalizations in Manaus, as well as, if there was an association between the evolution of human activities and the number of hospitalizations for respiratory diseases in the period from 2008 to 2019. It was found that the generation of thermoelectric energy was the main source of emission of particulate material in Manaus during almost the entire period analyzed, but with successive and significant reductions from the introduction of natural gas in the city's energy matrix. In the last year of the series, the main source of emission of particulate matter in Manaus was the vehicle fleet, a trend consistent with large urban centers in Brazil and the world. Regarding hospitalizations, generalized additive models with Poisson regression, with smoothing curves for seasonality adjustments due to climatic factors and months and years indicators, showed the most consistent results. It was not possible to establish an association between the concentration of PM_{2.5} and the number of hospitalizations, neither by the total nor by the number of occurrences by age groups. These episodes seem to be better explained by cases of Influenza, whose seasonality peaks in the rainy months in the Amazon. However, the GAM model showed a strong association between the intensity of the generation of thermoelectric energy, the vehicle fleet, the quantity of fires and the concentration of PM_{2.5} itself, which may indicate that another atmospheric pollutant resulting from urban economic activity may influence hospital visits for respiratory problems in the city of Manaus. The absence of observational data on the characterization of the vehicle fleet and the concentration of pollutants in the atmosphere of Manaus, may represent some kind of weakness in the results presented.

Keywords: Neoclassical Economics. Ecological Economics. Air pollution. Breathing problems. Environmental health.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Representação do Imposto de Pigou.....	25
Figura 1.2 – Classificação de Tipos de Bens.....	26
Figura 1.3 – Esboço das relações do sistema econômico com o meio ambiente...	27
Figura 1.4 – Nível Ótimo de Poluição.....	33
Figura 1.5 – A Economia como um Subsistema do Meio Ambiente.....	37
Figura 2.1 – Custos e Confiabilidade de Métodos para Inventário de Emissões...	54
Figura 2.2 – Evolução da Relação Habitantes por Veículo nas Cidades de Manaus, Belém e São Paulo dos Anos 2014 a 2019.....	63
Figura 2.3 – Taxa de Crescimento (%) da Frota e da População das Capitais Manaus, Belém e São Paulo – Base Fixa 2014 – 2014 a 2019.....	64
Figura 2.4 – Idade Média Ponderada da Frota de Veículos das Cidades de Belém, Manaus e São Paulo – 2014 a 2019.....	65
Figura 2.5 – Idade Média Ponderada da Frota de Veículos das Cidades do Estado do Amazonas – 2014 a 2019.....	66
Figura 2.6 – Emissões de Material Particulado, em Toneladas, da Frota de Veículos de Manaus, Belém e São Paulo – 2014 a 2019.....	67
Figura 2.7 – Participação % das Emissões de Material Particulado de Manaus, Belém e São Paulo, de acordo com o Tipo de Veículo – 2019.....	68
Figura 2.8 – Emissões de Material Particulado per capita (g) em Manaus, Belém e São Paulo 2014 – 2019.....	69
Figura 2.9 – Relação entre os Combustíveis e os Ciclos Termodinâmicos Utilizados na Geração Termoelétrica.....	71
Figura 2.10 – Distribuição Espacial das Usinas de Geração Elétrica no Brasil, por Tipo.....	73
Figura 2.11 – Quantidade Gerada de Energia Termelétrica em Manaus, em KWh, por Tipo de Combustível – 2007-2019.....	77
Figura 2.12 – Emissão de Material Particulado pela Geração de Energia Termelétrica em Manaus (T) – 2014-2019.....	77
Figura 2.13 – Índice de Base Fixa (2014) da Emissão de Material Particulado e da Geração de Energia Termelétrica em Manaus 2014-2019.....	78
Figura 2.14 – Localização das Refinarias Brasileiras e Dimensão da Capacidade	79

de Produção de Barris de Petróleo por Dia.....	
Figura 2.15 – Esquema do Ciclo de Refino REMAN.....	80
Figura 2.16 – Processamento Anual de Petróleo (m ³) na Refinaria de Manaus – 2000-2019.....	81
Figura 2.17 – Emissão Anual de Material Particulado (t) Oriundo do Refino de Petróleo em Manaus -2019.....	82
Figura 2.18 – Emissão Anual de Material Particulado (g) pela Quantidade Anual Refinada de Petróleo (m ³) das Refinarias REMAN e REDUC 2014-2019	83
Figura 2.19 – Emissão Anual de Material Particulado em Manaus (t) Proveniente do Refino de Petróleo, da Frota de Veículos e da Geração de Energia 2014-2019.....	84
Figura 3.1 – Trajetória da Pluma de Material Particulado proveniente das Regiões Norte e Centro-Oeste em Agosto de 2019.....	94
Figura 3.2 – Região Metropolitana de Manaus.....	95
Figura 3.3 – Médias Mensais da Concentração de Material Particulado 2,5 em Manaus-2008 a 2019.....	101
Figura 3.4 – Quantidade Mensal de Queimadas na Região Metropolitana de Manaus - 2008 a 2019.....	102
Figura 3.5 – Quantidade Total de Internamentos registrados sob a CID 10 em Manaus - 2008 a 2019 – Média Móvel de 4 períodos.....	103
Figura 3.6 – Correlograma das Variáveis Independentes Avaliadas.....	106

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Fatores de Emissão e de conversão para geração termelétrica, por combustível.....	58
Tabela 2.2 – Eficiência Térmica em função do Ciclo Térmico Empregado (%)...	58
Tabela 2.3 – Participação (%) do Volume de Combustível, por Tipo, no Total de Combustível Comercializado para Amazonas, Pará e São Paulo – 2007 a 2018.....	61
Tabela 2.4 – Perfil e Quantitativo da Frota de Veículos de Belém, Manaus e São Paulo – 2019.....	66
Tabela 2.5 – Matriz Energética Brasileira, Potência Outorgada (KW), Quantidade e Participação (%).....	72
Tabela 2.6 – Matriz Energética do Amazonas, Potência Outorgada (KW), Quantidade e Participação (%).....	73
Tabela 2.7 – Fonte de Suprimento Energético de Manaus, por Origem (GWh) e Participação no Total (%) 2018-2019.....	76
Tabela 2.8 – Número de Consumidores e Consumo, por Classe de Consumo em Manaus (GWh), Participação no Total (%) e Variação (%) – 2018-2019.....	76
Tabela 3.1 – Mapa de Calor com Valores Médios de Ocorrências de Internamentos por Faixa de Idade e Mês de Ocorrência - 2008 a 2019.....	99
Tabela 3.2 – Médias Aritméticas Mensais e Anuais da Concentração de PM _{2,5} em Manaus -2008 a 2019.....	101
Tabela 3.2 – Modelagem Estatística da Variável resposta “Total de Internamentos” considerando PM como variável independente em três tipos de modelagem: Modelos Lineares (LM), Modelos Lineares Generalizados (GLM) e Modelos Aditivos Generalizados (GAM).....	104
Tabela 3.3 – Estatísticas de Ajuste da variável resposta TOTAL INTERNAMENTOS considerando três tipos de modelagem: Modelos lineares (LM), Modelos Lineares Generalizados (GLM) e Modelos Aditivos Generalizados (GAM).....	107

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 – Lista de Usinas Termelétricas de Manaus Seleccionadas e Potência Instalada.....	55
Quadro 2.2 – Compatibilização de Classificação DENATRAN e CETESB.....	60
Quadro 3.1 – Padrões de Qualidade do Ar Definidos pelo CONAMA.....	104

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	19
REFERÊNCIAS	23
CAPÍTULO 1 – ECONOMIA E MEIO AMBIENTE: ASPECTOS TEÓRICOS DE UMA APARENTE CONTRADIÇÃO, E SEUS REFLEXOS NA SAÚDE AMBIENTAL	24
INTRODUÇÃO	24
1.1 VISÃO GERAL SOBRE A QUESTÃO AMBIENTAL NA TEORIA ECONÔMICA	25
1.1.1 Bens Públicos e Bens Comuns	27
1.1.2 A Economia e o Meio Ambiente	29
1.2 A PERSPECTIVA NEOCLÁSICA SOBRE O MEIO AMBIENTE – A ECONOMIA AMBIENTAL	32
1.3 REAÇÃO AO ATUAL MODELO DE CRESCIMENTO ECONÔMICO: A ECONOMIA ECOLÓGICA	37
1.4 O EFEITO DA DEPLEÇÃO DO MEIO AMBIENTE SOBRE A SAÚDE DA POPULAÇÃO: O ESTUDO DA SAÚDE AMBIENTAL	41
1.4.1 A Poluição do Ar nas Cidades e suas Implicações na Saúde	43
1.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
REFERÊNCIAS	49
CAPÍTULO 2 – AS PRINCIPAIS FONTES ANTRÓPICAS DE MATERIAL PARTICULADO PRESENTES NA ÁREA URBANA DE MANAUS	52
INTRODUÇÃO	52
2.1 MATERIAIS E MÉTODOS	55
2.1.1 Caracterização da Área e Período de Estudo	55
2.1.2 Dados e Métodos	56
2.1.2.1 Dados e Método para Estimativa de Emissões da Geração de Energia Termelétrica	57
2.1.2.2 Dados e Método para Estimativa de Emissões da Frota de Veículos	60
2.1.2.3 Dados da Estimativa de Emissões do Refino de Petróleo	63
2.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO	64
2.2.1 Frota de Veículos	64
2.2.2 Geração Termelétrica	71
2.2.3 Refino de Petróleo	80
2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	85
REFERÊNCIAS	87
CAPÍTULO 3 – IMPLICAÇÕES NA SAÚDE RESPIRATÓRIA DA POPULAÇÃO DE MANAUS DECORRENTES DA EMISSÃO DE MATERIAL PARTICULADO	91
INTRODUÇÃO	91
3.1 MATERIAIS E MÉTODOS	94
3.1.1 Dados e Área de Estudo	94
3.1.2 Métodos Aplicados	97
3.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO	100
3.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS	110
REFERÊNCIAS	113
CONCLUSÕES GERAIS	117

ANEXOS	120
ANEXO I – FATORES DE CONVERSÃO.....	121
ANEXO II – INTENSIDADE DE USO (KM/ANO).....	122
APÊNDICES	124
APÊNDICE A – BASE DE DADOS MODELOS DE REGRESSÃO.....	125
APÊNDICE B – RESULTADOS MODELAGEM ESTATÍSTICA	130
APÊNDICE C – ESTIMATIVAS DE DADOS DA FROTA DE VEÍCULOS.....	144

INTRODUÇÃO GERAL

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável reúnem os compromissos firmados pelos países signatários das Organizações das Nações Unidas para orientar o curso global de ação. Tais objetivos visam acabar com a pobreza, promover a prosperidade e o bem-estar para todos, proteger o meio ambiente e enfrentar as mudanças climáticas (ONU, 2015).

Dentre as metas estabelecidas pelos ODS, relacionam-se com o tema desta pesquisa as de número 3.9 e 11.6. São elas, respectivamente: (i) reduzir, até 2030, o número de mortes e doenças por produtos químicos perigosos, reduzir a contaminação e poluição do ar, da água e do solo e; (ii) reduzir, no mesmo espaço temporal, o impacto ambiental negativo *per capita* das cidades, com especial atenção à qualidade do ar, gestão de resíduos municipais, e outros (ONU, 2015).

Em diferentes escalas territoriais e com variadas gradações, o crescimento econômico é acompanhado de níveis importantes de poluição atmosférica. Segundo a Organização Mundial de Saúde - OMS (WHO, 2006), o ar limpo é um requisito básico para a saúde e para o bem-estar humanos. No entanto, a Organização Pan-Americana da Saúde – OPAS – aponta que mais de 80% das pessoas que vivem em áreas urbanas que monitoram a poluição do ar estão expostas a níveis de poluição que excedem os limites recomendados pela OMS. Segundo a OPAS (2016), esta condição é mais recorrente em cidades de países de baixa e média renda com mais de cem mil habitantes.

A poluição atmosférica pode se configurar em um importante fator relacionado aos problemas de bem-estar e de saúde. De acordo com a Organização para Cooperação do Desenvolvimento Econômico (OCDE, 2020), a poluição atmosférica em ambientes abertos é um grave problema ambiental que afeta a qualidade de vida das pessoas. A entidade afirma que os impactos da poluição atmosférica urbana para a saúde continuam a piorar, mesmo a despeito das intervenções nacionais e internacionais, e que esta será a principal causa ambiental de mortalidade prematura até 2050.

Desse modo, a regulação do controle de emissões já é uma realidade em várias partes do mundo, considerando que existem evidências empíricas do comprometimento da saúde das pessoas relacionadas à poluição atmosférica. A OMS (2016) afirma que mais de quatro milhões de mortes prematuras, a cada ano, podem ser atribuídas aos efeitos da poluição do ar, e que mais da metade dessas mortes ocorre em países em desenvolvimento. Por essa razão, elaborou diretrizes e referências de concentração de poluentes como padrões de qualidade do

ar (WHO, 2006).

Sob estas diretrizes, os padrões de qualidade do ar no Brasil são fixados pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, órgão consultivo e deliberativo do Sistema Nacional do Meio Ambiente – SISNAMA, instituído pela Lei nº 6.938/1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente. Esta, por sua vez, foi regulamentada pelo Decreto 99.274/1990. O referido Colegiado publicou a Resolução nº 491/2018, que estabeleceu os padrões de qualidade do ar no Brasil, anteriormente dispostas na Resolução CONAMA nº 3/1990 (CONAMA, 2018).

Diante dessas considerações iniciais, observa-se a importância de se aprofundar o conhecimento acerca da relação entre integridade do meio ambiente e eventuais impactos que desequilíbrios advindos das fontes de poluição causam sobre a saúde das pessoas. Nessa perspectiva, este trabalho aborda um problema comum às grandes cidades: a poluição do ar por material particulado e possíveis relações sobre a saúde respiratória da população de Manaus, capital do Estado do Amazonas.

São vários os poluentes lançados ou que se formam na atmosfera por meio de reações químicas com elementos naturais. Dentre eles, citam-se: óxidos de nitrogênio, de carbono e de enxofre, compostos orgânicos voláteis e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, o ozônio, as partículas secundárias, como os sulfatos e os nitratos, dentre outros (SALDIVA, 2018).

A escolha de tratar especificamente sobre o material particulado adveio de três razões principais:

- (i) as partículas atmosféricas são consistentemente associadas com danos à saúde humana, não só por sua composição, como também por suas características aerodinâmicas. Partículas finas e ultrafinas, com diâmetro inferior a 2,5 milésimos de milímetro – ou PM 2,5 – conseguem se depositar de forma eficiente nas porções mais profundas do pulmão (SALDIVA, 2018);
- (ii) o material particulado é o poluente utilizado como referência do ODS 11.6.2: “nível médio anual de partículas inaláveis (ex: com diâmetro inferior a 2,5 $\mu\text{m}/\text{m}^3$ e 10 $\mu\text{m}/\text{m}^3$) nas cidades (população ponderada)” (IPEA, 2019) e;
- (iii) o material particulado é um poluente comum às principais atividades antrópicas presentes na cidade de Manaus, quais sejam: ampliação da frota de veículos, queimadas, refino de petróleo e geração termelétrica baseada preponderantemente em combustíveis fósseis (BRASIL, 2018).

Inobstante o fato de Manaus reunir importantes fontes de emissão de material particulado, a cidade tem como diferencial sua localização. Situada na porção central da

Amazônia Brasileira, a capital conjuga características de uma grande metrópole às de um extenso ambiente natural que a margeia, caracterizado pela heterogeneidade e pela diversidade de espécies do Bioma Amazônico. Posicionada na confluência de dois grandes rios da região, o Rio Negro e o Rio Solimões, os quais se encontram para formar o Rio Amazonas, a cidade abriga mais de dois milhões de habitantes e possui intensa atividade econômica bastante relacionada à presença de um diversificado parque industrial. As intervenções antrópicas típicas de áreas urbanas, como a presença de ilhas de calor e a redução de vegetação urbana, podem criar em Manaus alterações climáticas que favoreçam a concentração de poluentes.

Nesses termos, busca-se responder ao seguinte questionamento: a emissão de material particulado, relacionada à intensidade da atividade econômica na capital do Estado do Amazonas, tem gerado prejuízos à saúde de sua população?

O objetivo geral da pesquisa é demonstrar possível relação entre a evolução das atividades antrópicas responsáveis pela emissão de material particulado e a saúde respiratória da população de Manaus. Para alcançá-lo, foram elencados os seguintes objetivos específicos: a) analisar o modo como as principais causas antrópicas de poluição do ar evoluíram em Manaus nos últimos anos; b) estimar o montante de emissão de material particulado anual das principais atividades industriais urbanas potencialmente poluidoras e; c) construir modelo estatístico exploratório que possa demonstrar possível relação entre a evolução das atividades antrópicas e a quantidade de internações de causa respiratória na cidade de Manaus.

A dissertação está estruturada em três capítulos, além desta introdução geral e das conclusões. O primeiro capítulo apresenta uma abordagem teórica da tríade meio ambiente, economia e saúde. Contextualiza ainda o processo de incorporação da variável meio ambiente às ciências econômicas a partir da economia ambiental e, mais adiante, da economia ecológica.

O segundo capítulo destaca as principais fontes antrópicas de material particulado presentes no território da capital e como foi a evolução de cada uma delas no recorte temporal de 2008 a 2019. As principais fontes são: o refino de petróleo, a geração de energia termelétrica e a frota de veículos. Ademais, foi realizado um inventário de emissão de material particulado proveniente da frota e da geração de energia termelétrica, a partir de estimativas baseadas em fatores de emissão. Os resultados, agregados ao cálculo de emissão fornecido pela Refinaria de Manaus, revelaram a predominância da geração de energia como principal fonte de emissão do poluente até o ano de 2018, com sucessivas e consistentes reduções proporcionadas pela introdução do gás natural na matriz energética, quando então foi superada pela frota de veículos.

O terceiro e último capítulo trata sobre saúde ambiental no contexto urbano, com foco nos problemas relacionados à concentração de material particulado sobre a saúde respiratória,

e a contribuição das principais causas antrópicas de poluição para a qualidade do ar da cidade de Manaus no período de 2008 a 2019. Foram testados modelos lineares, modelos lineares generalizados e modelos aditivos generalizados em duas combinações diferentes para verificar qual deles se mostraria mais adequado. A primeira relação testada foi o número de internamentos em função da concentração de material particulado $2,5\mu\text{g}/\text{m}^3$ na atmosfera, e o segundo foi o número de internamentos em função do estoque da frota de veículos, do número de queimadas, da quantidade refinada de petróleo e da energia termelétrica gerada. O modelo GAM demonstrou-se o mais ajustado nos dois casos pelo fato de a variável resposta apresentar uma distribuição de Poisson.

Os resultados não demonstraram associação entre a concentração de material particulado e o número de internamentos. No entanto, houve associação entre a intensidade das atividades antrópicas e o quantitativo de internamentos para todas as faixas etárias, especialmente de crianças até 1 ano de idade.

Espera-se estimular novas pesquisas que investiguem se gases de efeito estufa oriundos das atividades antrópicas em Manaus influenciam atendimentos hospitalares por problemas respiratórios, além de outras causas. Os resultados dessas averiguações podem ter o condão de fomentar o debate acerca da necessidade de uma transição de políticas de comando e controle referendadas pelo modelo neoclássico para outro, fundamentado em medidas baseadas na economia ecológica, com o intuito de resguardar a saúde dos moradores de Manaus e o patrimônio ecológico da Floresta Amazônica.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Cidades Sustentáveis: **Qualidade do ar**. Disponível em: <<https://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar>>. Acesso em: 03/12/2019.

CONAMA. Resolução nº 491, de 19 de novembro de 2018, do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA. **Dispõe sobre os padrões de qualidade do ar**. Publicado no Diário Oficial da União de 21/11/2018. IN: Brasília, 2018.

IPEA. Cadernos ODS: **ODS 11: tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis**. IPEA: Brasília, 2019.

OCDE. **Meio ambiente**. Disponível em: <<http://www.oecdbetterlifeindex.org/pt/quesitos/environment-pt/>> Acesso em: 15/02/2020.

ONU. (2015) **Transformando Nosso Mundo: a agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável**. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/wp-content/uploads/2015/10/agenda2030-pt-br.pdf>>. Acesso em: 10/2/2020.

OPAS; OMS (2016). **Níveis de poluição do ar estão crescendo em muitas das cidades mais pobres do mundo**. OPAS/OMS Brasil, Brasília, DF, 12 maio 2016. Disponível em: <http://www.paho.org/bra/index.php?option=com_content&view=article&id=5096:niveis-de-poluicao-do-ar-estao-crescendo-em-muitas-das-cidades-mais-pobres-do-mundo&Itemid=839>. Acesso em: 10/02/2020.

SALDIVA, P. **Vida urbana e saúde: o desafio dos habitantes das metrópoles**. São Paulo: Contexto, 2018.

WHO. **Air Quality Guidelines: global update 2005: particulate matter, ozone, nitrogen dioxide, and sulfur dioxide**. Copenhagen, 2006.

_____. **Preventing disease through healthy environments**. Geneva, Switzerland: WHO; 2006.

CAPÍTULO 1 – ECONOMIA E MEIO AMBIENTE: ASPECTOS TEÓRICOS DE UMA APARENTE CONTRADIÇÃO, E SEUS REFLEXOS NA SAÚDE AMBIENTAL

Resumo: Manaus é uma cidade que replica avançados meios de produção e consumo capitalistas, assim como problemas que práticas dessa natureza causam ao meio ambiente e à saúde humana. Para compreender se o modelo de controle de poluentes adotado na cidade é o mais adequado, este Capítulo elenca elementos teóricos que sustentam visões econômicas trazidas pela Economia Neoclássica sobre o meio ambiente e pela Economia Ecológica, uma alternativa à corrente neoclássica tradicional. Também, revela os fundamentos da Saúde ambiental, e os eventuais problemas de saúde que a população dos centros urbanos pode enfrentar em virtude da poluição atmosférica. A economia neoclássica, também conhecida como economia ambiental é a corrente dominante na Teoria Econômica e inaugurou uma visão mais ampla da economia tradicional ao incorporar a questão ambiental em sua base teórica e analítica. Ela se caracteriza no conceito de sustentabilidade fraca, pois considera que as limitações impostas pelo meio ambiente podem ser indefinidamente superadas pelo avanço tecnológico. A economia ambiental também propõe a valoração dos bens e serviços ecossistêmicos e a internalização das externalidades. A economia ecológica, que é uma reação ao atual modelo de crescimento, considera o meio ambiente como uma restrição absoluta ao crescimento econômico, por isso se enquadra no conceito de sustentabilidade forte. A economia ecológica critica a valoração dos bens e serviços ecossistêmicos por defender a incomensurabilidade de processos físicos, energéticos e biogênicos, e propõe uma visão integrada das ciências sociais, políticas e naturais para adequar o sistema econômico. As falhas cometidas pela estrutura estatal no controle das externalidades decorrentes do processo de crescimento econômico resvalam na saúde da população, que ao se expor a níveis excessivos de poluição atmosférica decorrentes da ação antrópica podem desenvolver problemas de saúde.

Palavras-chave: Economia Neoclássica. Economia Ecológica. Poluição do ar. Problemas respiratórios

INTRODUÇÃO

A escassez de recursos frente às necessidades ilimitadas por bens e serviços é um dos pilares fundamentais da ciência econômica. Esse dilema é equacionado a partir de escolhas supostamente racionais feita pelos agentes econômicos, de maneira a melhor alocar seus recursos.

Em geral, essas escolhas funcionam razoavelmente bem quando os recursos são de propriedade privada e são organizadas segundo as regras do mercado. Todavia, essa organização fica comprometida quando os recursos são de propriedade coletiva.

Os reflexos do limite de organização estabelecida pelo mercado podem ser ilustrados por uma parábola conhecida como Tragédia dos Comuns, a qual discorre sobre a criação de ovelhas em um pasto aberto a todos, uma terra comunal. Neste espaço, as famílias podem levar seu rebanho para pastar livremente e tudo ocorre bem porque a terra é fértil. (MANKIWI, 1999).

Esse mecanismo pode dar certo durante séculos, já que outros fatores podem manter o equilíbrio entre a quantidade de animais e a capacidade do pasto, como guerras tribais, caça furtiva, doenças, dentre outros. Ainda assim, no decorrer do tempo, essa situação caminha para a tragédia, pois cada homem está preso ao fato de aumentar seu rebanho sem limites, em um mundo que é limitado. O campo perde sua capacidade de sustento até se tornar improdutivo. A tragédia, neste exemplo relacionada à ruína, é o destino para onde os homens caminham, posto que cada um persegue seu próprio interesse, em uma sociedade que crê na liberdade dos bens comuns (HARDIN, 1968).

Nessa perspectiva, o ar é um recurso comum, e também está sujeito ao uso em excesso, o qual pode ser traduzido pela poluição. A tragédia deste mal uso são os problemas de saúde a que estão sujeitos os habitantes de locais submetidos à exposição excessiva de partículas e gases tóxicos presentes na atmosfera.

Manaus é uma metrópole localizada no centro da Amazônia Brasileira, em que os limites da cidade são a floresta. Nessa área habitam mais de dois milhões de pessoas a indústria de transformação representa um elemento-chave na economia. A frota de veículos cresce de maneira acelerada e a matriz energética é predominantemente de origem fóssil. Esse conjunto de elementos, que estão associados ao crescimento econômico da cidade nas últimas décadas, podem representar um risco à saúde da população. Nesse aspecto, o dilema crescimento econômico, proteção ambiental e saúde da população pode ser vislumbrado na capital do Amazonas.

Assim, este capítulo tem como objetivo cotejar elementos da economia relacionados ao meio ambiente, particularmente da escola neoclássica e da economia ecológica. Além disso, serão descritos os fundamentos conceituais do ramo multidisciplinar da área da saúde pública reconhecida como saúde ambiental.

1.1 VISÃO GERAL SOBRE A QUESTÃO AMBIENTAL NA TEORIA ECONÔMICA

A Teoria Econômica propugna que os mercados, em geral, alocam eficientemente os recursos escassos mediante as forças de oferta e demanda. Esta abordagem decorre da Teoria Clássica da Economia, consubstanciada na obra de Adam Smith intitulada de *A Riqueza das Nações*. No referido livro, a concorrência perfeita nos mercados passou a ser considerada a representação do bem-estar social (GIACOMELLI, *et al*, 2017).

Mankiw (1999), no entanto, alerta para o fato de que os governos, em certas ocasiões,

podem melhorar os resultados dos mercados, quando estes fracassam na alocação eficiente dos recursos. Esse tipo de imperfeição na alocação de recursos está amplamente retratado na literatura sob a denominação de falhas de mercado. Essas falhas ocorrem porque, segundo Rossetti (1997), os mercados possuem virtudes e também vícios, de maneira que se tornaram corriqueiras as intervenções regulatórias em busca de saná-los e, assim, conciliar os interesses públicos e privados.

A despeito das virtudes do mercado, um de seus referidos vícios é sua ineficácia alocativa do ponto de vista social. Sob a ótica institucional, resultaram diversas categorias de intervenções regulatórias exercidas pelo governo, da qual se destaca o “controle de externalidades, notadamente as que conduzem a degradação ambiental (ROSSETTI, 1997, p. 439).

Mankiw (1999, p. 10) ensina que “externalidade é o impacto das ações de alguém sobre o bem-estar dos que estão em torno”. Cita, como exemplo clássico, a poluição: “se uma fábrica de produtos químicos não paga todo o custo da fumaça que emite, ela tenderá a emitir demais” (MANKIW, 1999, p. 10).

Quando uma externalidade é causadora de uma alocação ineficiente de recursos em um mercado, o governo pode intervir de duas maneiras. A primeira delas acontece a partir da elaboração de políticas de comando e controle, que modulam diretamente o comportamento por meio da regulamentação de emissões, por exemplo (MANKIW, 1999).

A segunda maneira por meio da qual o governo intervém é a partir da execução de políticas baseadas no mercado. Nessa modalidade interventiva, busca-se alinhar incentivos privados e eficiência social a partir da imposição de tributos a atividades que geram externalidades negativas (MANKIW, 1999).

Em termos práticos, trata-se da imposição de um ônus ao causador de uma externalidade negativa, conhecido como Taxa Pigouviana, ou Imposto de Pigou. Desenvolvido por Arthur Cecil Pigou, este conceito está relacionado à diferença existente entre os custos privados e os custos sociais no âmbito da teoria das externalidades. Dessa forma, a referida taxa seria equivalente à diferença entre as duas magnitudes, cujo intuito da aplicação seria o de tornar equivalentes os custos de uma determinada atividade e os custos sociais por ela provocados (SANDRONI, 1999). Esta modalidade de ajuste, que será retomada adiante na seção que trata sobre a visão neoclássica, está representada na figura a seguir.

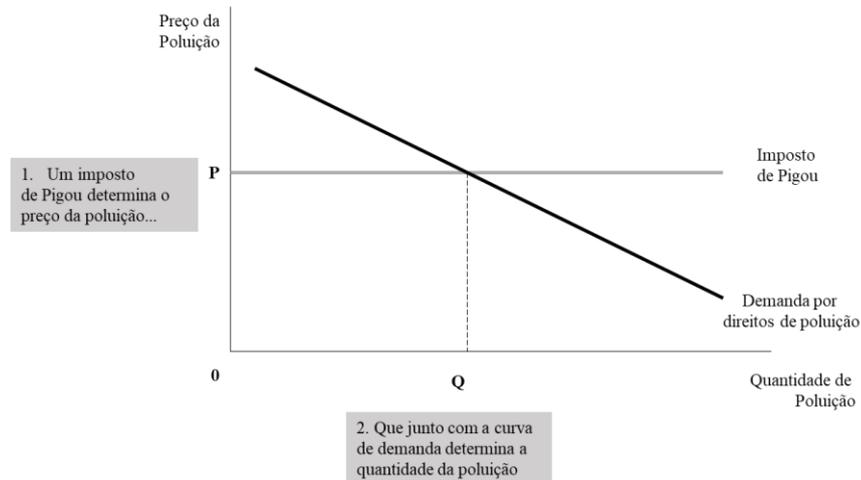


Figura 1.1 – Representação do Imposto de Pigou
 Fonte: Mankiw, 1999

Essa prerrogativa do governo de formular políticas públicas para, dentre outras finalidades, conduzir, inibir ou modificar a conduta dos agentes econômicos faz parte do escopo do ramo das ciências econômicas denominado Economia do Setor Público (COSTA, 2010).

Musgrave (1959) agrupou as diversas atribuições governamentais em três principais categorias, quais sejam: a) garantir o ajustamento na alocação de recursos; b) proporcionar ajustamento na distribuição de renda e riqueza e; c) assegurar a estabilização econômica. Destas, assenta-se a presente discussão na função estatal de ajustar a alocação de recursos, desde que as políticas públicas empreendidas nessa direção priorizem maior benefício social futuro, ainda que o benefício presente seja menor (BARONE, 2001).

De acordo com Costa (2010), a ideia subjacente às discussões inerentes ao setor público é a de se lidar com uma economia mista. Nessa perspectiva há, de um lado, um setor privado, no qual os agentes são livres para fazer suas escolhas. De outro, há um governo, direcionando as ações dos indivíduos (COSTA, 2010).

1.1.1 Bens Públicos e Bens Comuns

Segundo Fernandez (2014), o setor público é composto por instituições que ofertam bens de uso comum ou coletivo, os chamados bens públicos. Sandroni (1999, p.52) os chama de bens livres, aqueles que “satisfazem necessidades e suprem carências, mas são tão abundantes na natureza que não podem ser monopolizados, nem exigem trabalho algum para serem produzidos, não tendo, portanto, preço; por exemplo, o ar ou a luz do sol”.

Viceconti e Neves (2007) acrescentam que os bens públicos ou coletivos são bens que

têm como característica o fato de seu consumo ser realizado pela coletividade, de tal maneira que não se pode negá-los a quem não puder pagar por eles. Por essa razão, são bens que devem ser fornecidos pelo governo com o objetivo de satisfazer as necessidades coletivas.

Essa característica conduz a dois princípios que devem ser observados na classificação dos bens: a exclusividade e a rivalidade. O princípio da exclusão é o principal mecanismo de mercado, já que qualquer indivíduo estará excluído do usufruto de determinados bens caso não pague para possuí-los.

De outro modo, não existiriam as trocas se não existisse o direito de propriedade, uma vez que esse direito envolve a exclusão da posse de outros sobre o mesmo bem (FERNANDEZ, 2014). Aos bens públicos não se aplica o princípio da exclusão. Um bem é privado no caso de alguém que não pague por ele possa ser excluído de seu uso¹ (VICECONTI, NEVES; 2007).

O princípio da rivalidade, por seu turno, é aquele segundo o qual o uso do bem por uma pessoa impede a outra de utilizá-lo. Um bem público pode ou não ser rival. Aqueles que reúnem, simultaneamente, características de não-exclusão e não-rivalidade, são os bens públicos puros, como a defesa nacional e as rodovias sem pedágio (FERNANDEZ, 2014).

Aqueles classificados como não exclusivos e rivais são os bens públicos denominados recursos comuns, como por exemplo o meio ambiente, a água potável dos rios, os peixes do mar (FERNANDEZ, 2014). A figura a seguir demonstra essa diferenciação.

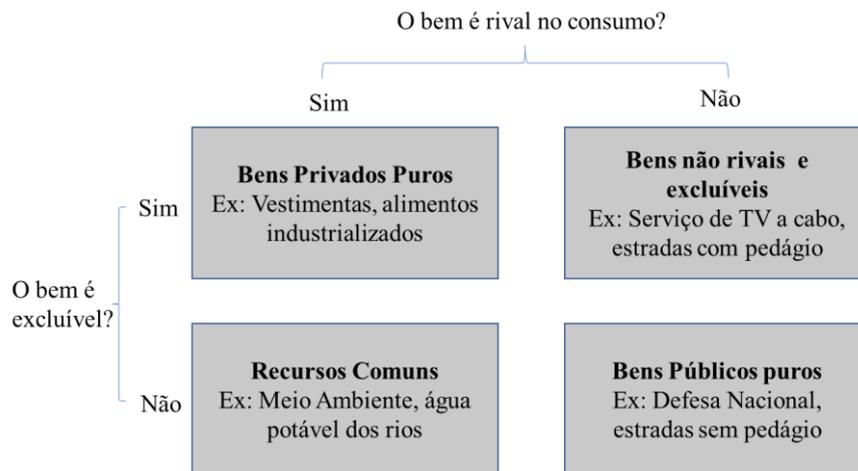


Figura 1.2 – Classificação de Tipos de Bens

Fonte: Adaptado de Fernandez, 2014

¹ A referida classificação não esgota a categoria de bens. Há, por exemplo, os bens meritórios, que são bens de grande utilidade para os cidadãos e podem ser ofertados tanto pelo setor público quanto pelo privado, pela sua relevância, como por exemplo os serviços de saúde e educação (VICECONTE, NEVES, 2007).

Mueller (1972) aponta que uma das razões que levam ao fracasso dos mercados na alocação eficiente de recursos é a existência de bens públicos. Tal assertiva decorre do fato de que a disponibilidade dessa categoria de bens gera a impossibilidade de atingir a eficiência Pareto-ótima² em regime de livre concorrência.

1.1.2 A Economia e o Meio Ambiente

De posse da definição de que o meio ambiente é um recurso comum e de que os governos são responsáveis pela sua oferta, cabe estabelecer quais os tipos de relações existentes entre a economia e o meio ambiente.

Mueller (2004) esclarece que a análise econômica considerava inicialmente, e de forma implícita, a economia como um sistema autocontido. Todavia, o autor salienta que, atualmente, focaliza-se a economia como um sistema inserido no meio-ambiente, com o qual se interrelaciona ativamente.

Essa evolução no campo teórico decorre do fato de que o sistema econômico é um organismo vivo e complexo e, portanto, não atua independente do sistema natural que lhe sustenta (MUELLER, 2007). Essa visão é compartilhada por Andrade (2008), o qual acrescenta que o sistema econômico interage com o meio ambiente ao extrair recursos naturais – os componentes estruturais dos ecossistemas – e devolve a ele os resíduos, conforme ilustrado na Figura 1.3, abaixo.

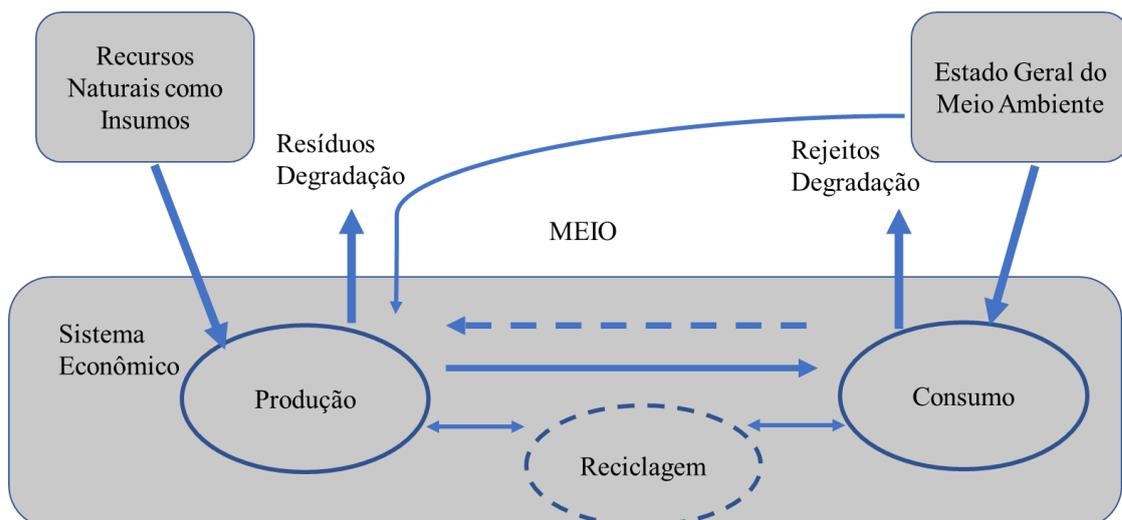


Figura 1.3 – Esboço das relações do sistema econômico com o meio ambiente
Fonte: Mueller, 2007

² De acordo com Sandroni (1999), Eficiência Pareto-ótima, ou Ótimo de Pareto, é uma situação na qual os recursos de uma economia são alocados de tal maneira que qualquer outra ordenação seria incapaz de melhorar a situação de um indivíduo, sem piorar a de outro.

Andrade (2008) defende a necessidade de se compreender a dinâmica subjacente aos processos naturais de suporte à vida, bem como o imperativo de se dimensionar os impactos que as atividades humanas têm sobre os sistemas naturais. Para o autor, tecer análises econômicas que desconsiderem as interações do sistema econômico com o seu meio externo, de acordo com o que propõe a Figura 3.1, torna-as reducionistas e limitadas (ANDRADE, 2008).

Neste ponto, essa compreensão deve alcançar o fato de que a própria dinâmica ambiental, bem como suas conexões com o sistema econômico, fazem parte do que se chama de sistemas complexos. A definição de Macau (2005, p.1) de sistemas complexos reforça a necessidade de uma análise generalizada: “é um sistema que apresenta um comportamento intrincado, que é difícil de ser modelado através do enfoque reducionista de sucessivas subdivisões em busca de seus constituintes elementares”.

A partir do exame das questões e controvérsias acerca das interrelações entre o sistema ambiental e o econômico, Mueller (2007) aponta os impactos que o crescimento contínuo da escala da economia mundial causa sobre o meio ambiente. A questão que se depreende do ponto levantado pelo autor é o dilema que cerca a busca pelo crescimento ilimitado, frente à finitude dos recursos.

Isto posto, o estoque de recursos naturais, aos quais Andrade (2008) se refere pelo termo capital natural, passa a ser um fator limitante ao desenvolvimento econômico, em substituição ao capital manufaturado. Sob a perspectiva econômica, mediante a qual deve-se maximizar a produtividade do capital mais escasso, neste caso, limitante, e aumentar sua oferta, as políticas econômicas atuais devem estar voltadas a incrementar a produtividade do capital natural e dos benefícios deles advindos (CONSTANZA, 2000).

Ainda que esta contradição pareça clara, o comércio internacional, os fluxos de capital e os padrões tecnológicos, elementos cruciais para o crescimento global, é que determinam a magnitude da escala do sistema econômico e, conseqüentemente, seus impactos sobre o meio natural. A grande interconexão entre os povos decorrente de fenômenos como a globalização trouxe consigo mudanças no estilo de vida e nos padrões de consumo que afetam a capacidade de suporte dos sistemas naturais (ANDRADE, 2008).

Paralelamente, o tamanho populacional e outras variáveis demográficas influenciam o consumo de alimentos, água, energia, transporte, dentre outros bens e serviços que aumentam a pressão sobre o meio ambiente. Das diferentes posições que avaliam a dimensão desse impacto, uma delas sugere que tecnologias utilizadas com o intuito de viabilizar o crescimento são frequentemente selecionadas sem que sejam considerados seus impactos no meio natural

(ANDRADE, 2008).

Desse modo, referidos impactos adversos estariam mais fortemente ligados à função da economia política subjacente às escolhas tecnológicas, do que propriamente uma função do crescimento econômico e populacional, em si. Sob esta ótica, tais fatores funcionam mais como contribuintes aos impactos ambientais adversos, e agem simultaneamente a outros condicionantes, tais como escolhas tecnológicas e arranjos institucionais (ANDRADE, 2008). Em última análise, trata-se de uma postura deliberada da estrutura estatal de exercer ações ou omissões que possam, eventualmente, causar prejuízos ao meio ambiente.

Mueller (2007) acrescenta ao componente magnitude da população o fator renda, ou melhor, o nível de renda *per capita* médio que, em última instância, traduz-se na razão de produção material por habitante. Para Mueller (2007), a degradação ambiental de países pobres superpovoados e de elevado dinamismo demográfico tende a apresentar características qualitativamente diferente daquelas que ocorrem em países ricos, mas ela existe e é relevante.

Ademais, ainda que um país cuja população apresente níveis estáveis, sem alterações relevantes em sua totalidade em determinado horizonte temporal, o aumento da renda está associado a uma produção material cada vez maior. Ainda que a ciência e a tecnologia possam amenizar os efeitos da degradação e poluição, as leis da natureza impedem que os efeitos dessa expansão produtiva sobre o meio ambiente sejam totalmente eliminados (MUELLER, 2007).

Uma forma de equilibrar a aparente oposição entre economia e meio ambiente é a atuação do Estado, que, de acordo com Sachs (2004), tem como uma de suas funções a harmonização de metas sociais, ambientais e econômicas. Conforme o autor, uma das formas de promover a eficiência e a sustentabilidade é a utilização de ferramentas como o planejamento estratégico e o gerenciamento cotidiano da economia e da sociedade.

Para Sachs (2004) o desenvolvimento sustentável acrescenta ao desenvolvimento social outra dimensão, a da sustentabilidade ambiental:

Ela é baseada no duplo imperativo ético de solidariedade sincrônica com a geração atual e de solidariedade diacrônica com as gerações futuras. Ela nos compele a trabalhar com escalas múltiplas de tempo e espaço, o que desarruma a caixa de ferramentas do economista convencional. Ela nos impele ainda a buscar soluções triplamente vencedoras, eliminando o crescimento selvagem obtido ao custo de elevadas externalidades negativas, tanto sociais quanto ambientais. Outras estratégias, de curto prazo, levam ao crescimento ambientalmente destrutivo, mas socialmente benéfico, ou ao crescimento ambientalmente benéfico, mas socialmente destrutivo.

Sachs (2004) extrapola o dilema da finitude dos recursos e da viabilidade do sistema econômico no tempo, ao tratar da extensão social desse problema. A visão que considera a

solidariedade atual e futura com as próximas gerações, descarta a tática mercadológica imediatista destrutiva e de resultados de curto prazo.

1.2 A PERSPECTIVA NEOCLÁSICA SOBRE O MEIO AMBIENTE – A ECONOMIA AMBIENTAL

A dimensão normativa associada à Economia Neoclássica está ancorada sob os dois Teoremas do Bem-Estar³, os quais estabelecem uma relação de causalidade entre o equilíbrio geral, as condições de concorrência pura e perfeita e a eficiência social avaliada a partir do critério de Pareto (HERSCOVICI, 2015).

Nessas condições, a eficiência social está diretamente ligada à concepção paretiana da justiça (HERSCOVICI, 2015). Para Burgenmeier (1994), o mercado eficiente é a referência objetiva para a solução dos problemas sociais, de maneira que se uma política econômica não funciona, pode-se atribuir isto ao fato de que não foi desenhada de acordo com os princípios do mercado.

Uma vez que a atividade econômica, a qualidade de vida e a coesão das sociedades humanas são dependentes dos bens e serviços oferecidos pelo meio ambiente, a principal corrente econômica tratou de incorporar a problemática ambiental e de critérios de sustentabilidade à sua base teórica (ANDRADE, 2008).

Mueller (2005) revela que o processo de reconstrução analítica da Teoria do Consumidor⁴ contou com participação de economistas ilustres do século passado, dentre os quais Nicholas Georgescu-Roegen. O autor avançou na reavaliação de outro componente básico do sistema econômico – o processo de produção. Ao fazer isto, analisou as interrelações entre a economia e o meio ambiente.

A Teoria da Firma é a parte da teoria microeconômica que se atém às explicações e previsões das decisões das empresas, sobretudo àquelas referentes ao produto final, seu preço, grau de utilização de insumos e mudanças nessas variáveis (SANDRONI, 1999). Já a lista de todos os processos ótimos pelos quais uma dada quantidade de um produto pode ser obtida de cada combinação possível de fatores de produção é o que se chama de função de produção (MUELLER, 2005).

³ Silva e Steffens (2018) ensinam que o primeiro teorema do bem-estar diz que um sistema competitivo de trocas leva a uma alocação eficiente de recursos. O segundo teorema estabelece que, sob certas condições, partindo de uma alocação eficiente de Pareto, é possível encontrar o equilíbrio de mercado.

⁴ A Teoria do Consumidor trata, em linhas gerais, da ordenação das preferências do consumidor que o permite avaliar entre diferentes cestas de produtos, quais dela prefere ou, ainda, se é indiferente a elas (VICECONTI, NEVES; 2007).

Para seguir adiante sobre de que forma a teoria neoclássica incorporou a relevância do capital natural à função de produção, é preciso primeiramente definir os conceitos de substitutibilidade, sustentabilidade fraca e sustentabilidade forte. O termo sustentabilidade foi também estabelecido sob o ponto de vista econômico por Solow (1993, p.163), para quem “a expressão deve ser uma injunção para a preservação da capacidade produtiva por todo o tempo”.

Ainda sob esse panorama meramente econômico, Solow (1993) acrescenta que o desenvolvimento sustentável compreende o fluxo máximo de produto e de renda que podem ser gerados a partir de um estoque de capital em expansão, desde que observado o imperativo de sua conservação. Na perspectiva de garantir às gerações futuras níveis de bens estar, no mínimo, semelhantes aos atuais, deve-se admitir que é possível haver substituição entre duas categorias de determinantes do bem-estar – os oriundos da natureza e os resultantes do esforço humano (MUELLER, 2005).

Segundo Solow (1993), um mesmo nível de bem-estar pode ser alcançado, seja por elevada contribuição da natureza e pouca acumulação de artefatos humanos, seja por uma menor contribuição da natureza e elevada participação de artefatos humanos. De acordo com essa visão, a **substitutibilidade** é um atributo fundamental no sentido de permitir determinar se o desenvolvimento é ou não sustentável.

Essa **substitutibilidade** pode ser alavancada pelo desenvolvimento tecnológico e se dá tanto no consumo, quanto na produção. Neste último caso quando, por exemplo, um fator construído – o capital produzido - substitui na produção um atributo da natureza – o capital natural. Ressalta-se, no entanto, que as diferentes abordagens sobre esse tema são frutos de divergências sobre a importância efetiva do capital natural para o desenvolvimento sustentável (MUELLER, 2005).

Referidas divergências deram origem a dois conceitos cuja diferença tem a ver com o grau de substitutibilidade entre os diferentes tipos de capital. Esses conceitos são o de sustentabilidade fraca e de sustentabilidade forte (MUELLER, 2005).

Sustentabilidade fraca é o conceito mediante o qual mantêm-se constantes o consumo e o capital total, e não o capital natural. Por outro lado, sustentabilidade forte é o juízo segundo o qual o capital natural e o capital produzido são essencialmente complementares, mas não perfeitamente substituíveis (AMARAL, 2010).

A economia ambiental não considera o meio ambiente como um limite absoluto ao crescimento econômico, de modo a defender que o capital natural pode ser perfeitamente substituído no longo prazo pelo capital produzido, ou ainda pelo capital humano. Portanto, essa visão da economia ambiental se enquadra no conceito de sustentabilidade fraca, em que as

limitações naturais representam apenas uma restrição relativa ao crescimento econômico e que podem ser superadas indefinidamente pelo avanço da tecnologia (ROMEIRO, 2004).

Para a economia tradicional, os recursos naturais não são considerados como fatores de produção porque eles são abundantes. Nessa condição, tudo o que não é escasso não é considerado como um recurso econômico, portanto, não requer preocupação. A economia ambiental, de outro modo, reconhece a escassez dos recursos naturais e que o sistema econômico retorna para o ambiente físico e natural resíduos, depleções e alterações, conforme demonstrado na Figura 1.1 (RIVAS *et al*, 2008).

Desse entendimento, surgiram duas ramificações da teoria ambiental neoclássica: a teoria da poluição e a teoria dos recursos naturais. A teoria da poluição está ancorada na teoria do bem-estar e dos bens públicos. Ela foca o meio ambiente – um bem público – na sua condição de receptor de rejeitos, de tal modo que a poluição é considerada uma externalidade negativa. Além disso, a teoria da poluição busca compreender quais os danos causados pela poluição no meio ambiente, assim como os custos e benefícios envolvidos na adoção de mecanismos de poluição (ANDRADE, 2008).

Ademais, os recursos naturais e os serviços ambientais são considerados como recursos econômicos pela economia ambiental, de tal modo que o mencionado ramo econômico desenvolveu métodos para valorá-los. Essa valoração baseia-se nos princípios da teoria microeconômica neoclássica, e atribui valores aos bens e serviços ecossistêmicos decorrente de sua utilidade derivada, direta e indiretamente, e do seu uso atual e potencial (ANDRADE, 2008).

A economia ambiental classificou os recursos naturais conforme as características de seu estoque - fixo ou de fluxo, estes com capacidade regenerativa (RIVAS *et al*, 2008). Além destes, a economia ambiental também classificou os bens oriundos da natureza em uma outra categoria: a dos recursos ambientais.

Para Rivas *et al* (2008), recursos ambientais são aqueles providos pela natureza, mas que não são divisíveis. Diferente dos recursos naturais que podem ser divididos com a utilização de capital e trabalho⁵, os recursos ambientais não podem ser alocados à margem em unidades cada vez menores, portanto são analisados marginalmente em termos qualitativos, e não quantitativos.

O ar é um exemplo de recurso ambiental, já que não é possível fragmentá-lo em unidades menores e a avaliação desse recurso é feita com base em parâmetros qualitativos. De

⁵ Recursos que podem ser divididos em unidades cada vez menores, como por exemplo: um litro de gasolina, um metro cúbico de gás e assim sucessivamente (RIVAS, *et al*, 2008)

acordo com os fundamentos da Teoria Neoclássica, a solução para a poluição do ar perpassa por sua caracterização como um bem público, pelo reconhecimento do fenômeno da poluição atmosférica como uma externalidade, ou seja, um ônus social que extrapola o processo produtivo, fruto de uma falha de mercado, e pelo condicionamento da conduta do agente no sentido de estabelecer um nível aceitável de poluição, ou taxá-lo pela inobservância dos limites estabelecidos.

Particularmente no que tange à externalidade da poluição, há dois tipos de custos sociais inerentes ao seu decréscimo - o de redução da poluição, que é o custo de abatimento; e o custo referente aos danos causados pela poluição (RIVAS *et al*, 2008). A figura a seguir ilustra esses custos para a sociedade como um todo.

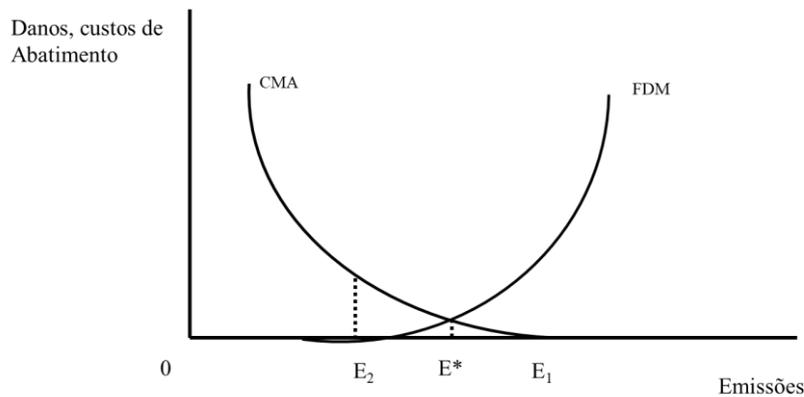


Figura 1.4 – Nível Ótimo de Poluição

Fonte: Rivas *et al*, 2008

A Figura 1.4 define que E_1 representa o nível de emissão de poluição que ocorreria em um mercado sem regulação. Para reduzir o nível de poluição de E_1 , devem ser despendidos recursos – os gastos com abatimento – os quais estão representados pela curva de Custo Marginal de Abatimento – CMA. Os custos totais estão representados pela área abaixo da curva marginal de abatimento, ou seja, os custos totais de abatimento de poluição de E_1 para E_2 podem ser medidos como a área abaixo da função de custo marginal de abatimento entre E_1 e E_2 (RIVAS *et al*, 2008).

Da mesma forma, se as emissões são reduzidas para E_2 , os danos totais deste nível de poluição são iguais à área abaixo da Função de Dano Marginal – FDM - entre 0 e E_2 . Relativamente a essa função, verifica-se que ela é progressiva em relação ao aumento de emissões. Isto significa que quanto mais poluição é emitida, maiores os danos de uma unidade de poluição (RIVAS *et al*, 2008).

A Figura 1.4 também ilustra o nível ótimo de emissões – E^* , aquele em que o nível de emissões minimiza a soma dos custos de abatimentos e danos. Neste ponto, os custos de abatimento são iguais a área abaixo do CMA entre E^* e E_1 e onde os danos são iguais à área abaixo da função de dano marginal entre 0 e E^* . Pode-se observar que a soma dos custos totais de abatimento e dos danos totais é minimizada quando os custos marginais de abatimento são iguais aos danos marginais (RIVAS *et al*, 2008).

Nesse ambiente, a proposta de Pigou é no sentido de que a presença de uma externalidade reduz o bem-estar social, o qual pode ser aumentado por meio de uma intervenção estatal para corrigir o fracasso do mercado. É o que se pode chamar de internalização das externalidades, neste caso particular, atribuindo à externalidade um imposto (RIVAS *et al*, 2008).

Contudo, tanto a ideia de tratamento da problemática ambiental como uma mera questão de consumo intertemporal, quanto a de perfeita substitutibilidade entre capital natural e capital produzido e a da instrumentalização da valoração econômica de recursos ambientais são alvos de críticas. Isso porque, o conhecimento social sobre as questões ambientais é limitado, e que essas questões ainda estão no centro de debates ainda não equacionados em áreas afetas aos problemas ambientais, como a biologia, as geociências e outras (AMARAL, 2010).

Dessa forma, torna-se difícil prever com exatidão quais os efeitos sobre o meio ambiente seriam causados no caso de se manter os atuais níveis de extração e utilização dos recursos ambientais. As incertezas também recaem sobre a capacidade de recuperação do planeta e os impactos sobre a vida da população mundial, dado o caráter irreversível e acumulativo dos danos ambientais (AMARAL, 2010).

Por fim, a economia ambiental tem como ponto fundamental em sua concepção teórica compatibilizar o “uso ótimo” e o “uso sustentável” do meio-ambiente. (AMAZONAS, 1999). Assim, a preocupação latente da economia ambiental reside no bem-estar dos indivíduos, de maneira que o estado geral do meio ambiente está em segundo plano (ANDRADE, 2008).

Andrade (2008) revela que o surgimento da economia ambiental foi fruto de pressões ao *mainstream* econômico, que o induziu a incorporar a problemática ambiental ao seu esquema analítico. Como teoria dominante, é a corrente que subsidia as ações do Governo Brasileiro e, por consequência, reflete-se nas ações ambientais no Estado do Amazonas. Portanto, o que se aplica na cidade de Manaus em relação às fontes de poluição atmosférica são políticas de controle de emissão, com o intuito de modular o comportamento dos agentes no sentido de minimizar danos ao meio ambiente e à saúde das pessoas.

Relativamente ao controle de emissões de veículos, o regramento é ditado pela Lei nº 3.564/2010, mas que só foi implantado em 2017. O mencionado diploma legal estabelece regras de gestão e controle da emissão de poluentes e do consumo de combustíveis de veículos (AMAZONAS, 2010). Atividades fabris potencialmente poluidoras estão sob a égide do Programa Nacional de Qualidade do Ar – PRONAR, estabelecido pela Resolução CONAMA nº 5/1989 – cujo intuito é o de controlar a poluição do ar no país a partir do estabelecimento de padrões nacionais de qualidade do ar e de emissão na fonte.

1.3 REAÇÃO AO ATUAL MODELO DE CRESCIMENTO ECONÔMICO: A ECONOMIA ECOLÓGICA

O final da década de 1960 e o início da década de 1970 foram marcados pela repercussão da questão ambiental e sua emergência, elevando-a à sua devida importância nos campos social, econômico e político. Em meio à articulação do movimento ambientalista e ao choque do petróleo, vieram à tona as questões relacionadas aos recursos naturais, à geração de energia e ao meio ambiente, em geral (AMAZONAS, 2020).

Emergiram desse debate críticas ao modelo de crescimento econômico vigente, já que este modelo representava um conflito, senão uma incompatibilidade entre crescimento econômico e a conservação do meio ambiente. Em última análise, esse conflito representaria um limite à continuidade do próprio crescimento econômico (AMAZONAS, 2020).

O Relatório Meadows, de 1972, documento resultado do Clube de Roma⁶, abordou os limites ao crescimento. Nele, apontava-se para a necessidade de um crescimento econômico zero em virtude do cenário catastrófico previsto em seu conteúdo, resultado da impossibilidade de conciliar o crescimento econômico com a exaustão dos recursos naturais por ele acarretada (AMAZONAS, 2020).

A partir da repercussão causada pelo Relatório Meadows, o debate polarizou-se entre a posição defendida pelo crescimento zero, conhecida como “neomalthusiana”, e a posição defendida por países em desenvolvimento de “direito ao crescimento”. Assim, na Conferência de Estocolmo, em 1972, desenvolveu-se a tese de “EcoDesenvolvimento”, uma terceira via

⁶ O Clube de Roma foi um encontro de cientistas europeus que se dedicaram a estudar as implicações do crescimento econômico desenfreado. Eles examinaram os cinco fatores básicos que limitam o crescimento no planeta - população, produção agrícola, esgotamento de recursos não renováveis, produção industrial e poluição. Os resultados dessas análises constam no primeiro grande relatório do grupo, O Relatório Meadows que, publicado, ganhou o título *The Limits to Growth*, de 1972, (THE CLUB OF ROME, 2021)

segundo a qual o crescimento econômico e a preservação do meio ambiente não são incompatíveis, ao contrário, são interdependentes (AMAZONAS, 2020).

Na trajetória da tentativa teórica de conciliação entre o crescimento econômico e a conservação ambiental, surge da Conferência de Estocolmo o Relatório Brundtland, intitulado *Our Common Future*, de 1987. Foi nele inaugurado o ainda controverso conceito de desenvolvimento sustentável⁷ - “aquele desenvolvimento que permite às gerações presentes satisfazerem suas necessidades sem comprometer a capacidade de as gerações futuras satisfazerem as suas próprias” (BRUNDTLAND, 1987, p.24).

Amazonas (2020) ressalta que o desenvolvimento sustentável foi um ponto de passagem obrigatório no debate econômico para a penetração da questão ambiental na economia. Como resultado desse processo, estruturou-se um ramo relativamente recente do conhecimento, formalizado em 1989 com a fundação da *International Society for Ecological Economics* (ISEE) e com o periódico *Ecological Economics* (ANDRADE, 2008): a Economia Ecológica.

De forma oposta ao pensamento neoclássico, a economia ecológica tem como principal característica o fato de considerar o meio ambiente como uma restrição absoluta ao crescimento econômico. Nesse aspecto, entende-se que o capital natural e o capital produzido são essencialmente complementares, mas não perfeitamente substituíveis, preceito enquadrado no conceito de sustentabilidade forte (AMARAL, 2010).

Os fundamentos da economia ecológica avançam sobre o aspecto reducionista da economia tradicional e neoclássica sobre a questão ambiental, a partir da constatação de que a complexidade inerente aos problemas ambientais não permite que eles sejam avaliados sob a ótica de apenas uma disciplina. Dessa maneira, a economia ecológica defende a integração das ciências sociais e políticas e das ciências naturais, notadamente a ecologia (ANDRADE, 2008).

[...] a economia ecológica traz implícita a idéia de uma agenda de pesquisa verdadeiramente transdisciplinar, cujo fulcro pode ser associado ao objetivo último do desenvolvimento sustentável, entendido como a equidade intra e intergeracional (ANDRADE, 2008, p.18)

Freitas e Porto (2006), explicam que o encontro da ecologia e das ciências sociais conformou os campos da economia ecológica e da ecologia política na área ambiental. Para Leff (2006), a economia ecológica assinalou a incomensurabilidade dos processos energéticos,

⁷ Autores diversos se referem ao conceito de desenvolvimento sustentável como vago, polissêmico, confuso, *slogan* popular, entre outras críticas (FEIL; SCHREIBER, 2017)

ecológicos e distributivos, ao contrário dos fundamentos da economia ambiental.

A economia ecológica percebe a economia como um subsistema de um ecossistema global maior, este finito e materialmente fechado, embora aberto ao fluxo de energia solar. Este ecossistema global maior impõe limites ao crescimento físico do sistema econômico, de tal sorte que os economistas ecológicos buscam compreender a dinâmica subjacente aos processos naturais e econômicos e as interfaces entre essas dinâmicas (ANDRADE, 2008). A Figura 1.5, abaixo, representa essa visão.

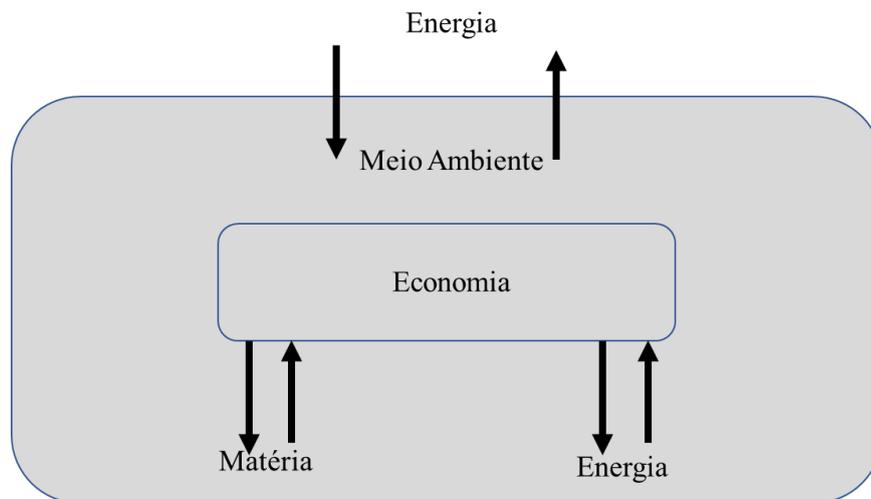


Figura 1.5 – A Economia como um Subsistema do Meio Ambiente

Fonte: Common & Stagl, 2005

Amazonas (2020) acrescenta que a economia ecológica não refuta os conceitos e instrumentos da economia convencional, tampouco da ecologia convencional. O que há é uma aproximação metodológica pluralista e não-mecanicista cujo intuito é ampliar os modelos neoclássicos para incorporar em suas análises variáveis ecológicas e físicas não contempladas no esquema analítico convencional (ANDRADE, 2008).

Para os economistas ecológicos, o sistema econômico deve considerar as trocas de matéria e energia que ocorrem entre o sistema econômico e o meio ambiente. Em última análise, significa que o sistema econômico deve pesar os fundamentos biofísicos-ecológicos que regulam o sistema natural, que o sustenta.

Por reconhecer a importância dos fluxos materiais e energéticos para o funcionamento do sistema econômico, e pelo fato de a economia envolver processos físicos, a economia ecológica se ocupa em analisar as leis da termodinâmica, bem como suas implicações para o sistema econômico (ANDRADE, 2008).

A termodinâmica considera que existem três tipos de sistemas: aberto, fechado e isolado. Um sistema aberto pode trocar tanto matéria, quanto energia com o meio. O sistema fechado, de outro modo, pode trocar energia com o meio, mas não matéria. Já o sistema isolado não pode trocar nem matéria, nem energia com o meio. Essas trocas energéticas são regidas pelas leis da termodinâmica (AVISSAR *et al*, 2018).

A primeira lei da termodinâmica, uma aplicação do princípio da conservação de energia, reafirma a base material sobre a qual o sistema econômico se reproduz é finita (ANDRADE, 2008). Afirma que a energia total do universo não se altera, portanto, não pode ser criada ou destruída. Dessa forma, a energia pode ser apenas modificada ou transferida de um objeto para outro e, como esse processo não é totalmente eficaz, uma parte dessa energia é despendida em forma de calor (AVISSAR *et al*, 2018).

A segunda lei da termodinâmica, ou lei de entropia⁸, afirma que toda transferência de energia aumentará a entropia do universo e reduzirá a quantidade de energia utilizável disponível (AVISSAR *et al*, 2018). Se há, então, um processo contínuo de elevação de entropia do universo e a energia dissipada não é mais disponível para realização de trabalho útil, a natureza entrópica dos fenômenos demonstra que a escassez de recursos é inevitável no longo prazo (ANDRADE, 2008).

Assim, não seria possível reduzir os valores da natureza à condição de simples mercadorias e, portanto, à contabilidade econômica, tal como advogam os adeptos da economia ambiental. A economia ecológica propõe integrar a economia aos sistemas vivos como uma extensão destes, reconstruindo a racionalidade econômica a partir de princípios da ecologia e da termodinâmica (LEFF, 2006).

O debate ora exposto auxilia na compreensão de que a lógica econômica predominante, imediatista e reducionista, deve ceder espaço para uma visão sistêmica que leva em consideração os limites do planeta e a irreversibilidade de alguns desses danos ao meio ambiente e à saúde humana, como se verá a seguir. A percepção de que o crescimento econômico ilimitado, a qualquer custo, inviabiliza o próprio sistema econômico no longo prazo, deve ser um direcionador das ações do Estado e das empresas no sentido de incorporar a racionalidade ambiental a um novo modelo de organização sócio-institucional.

Esse pensamento, transposto para a realidade da cidade de Manaus dos pontos aqui elencados, teria uma abordagem mais ampla do que propõe a postura regulatória do controle de

⁸ Entropia significa o grau de aleatoriedade ou desordem de um sistema. Toda transferência de energia resulta na conversão de uma parte da energia em uma forma inutilizável (como calor), e o calor que não gera trabalho acaba aumentando a aleatoriedade do universo (AVISSAR, *et al*, 2018)

emissões sob o escopo da lógica da economia ambiental. De acordo com a visão explicitada, caberiam determinações como limitação do quantitativo da frota, restrição ou vedação de atividades altamente poluidoras, desenvolvimento e viabilização de novas fontes de energia e de novas formas transporte coletivo.

Bertha Becker destaca que poucas cidades da Amazônia são dinâmicas, e Manaus é uma exceção singular em decorrência da atividade industrial. A autora defende que um novo padrão de desenvolvimento para a Amazônia, baseado em uma fronteira de novo tipo - do capital natural e do conhecimento – reorganiza a base produtiva com base em formas inovadoras de lidar com questões comuns, como o uso dos recursos naturais. É nesse contexto que Manaus poderia ser planejada como uma cidade mundial de marca Amazônica, graças a sua posição ímpar frente à floresta amazônica sul-americana (BECKER, 2010).

1.4 O EFEITO DA DEPLEÇÃO DO MEIO AMBIENTE SOBRE A SAÚDE DA POPULAÇÃO: O ESTUDO DA SAÚDE AMBIENTAL

Para além do debate econômico, os problemas ambientais têm reflexos amplamente documentados sobre a saúde humana. Este assunto tem obtido maior relevância na medida em que a degradação ambiental significa uma ameaça aos sistemas de suporte à vida e, portanto, à viabilidade de todos os seres e sistemas vivos, inclusive dos seres humanos (FREITAS; PORTO, 2006).

Na área da saúde, abordagens ecológicas globais são recentes. Minayo (2002) lembra que foi no final da Década de 1970 que ambientalistas, sanitaristas, investigadores e gestores começaram a perceber a necessidade de integrar suas ações em favor da qualidade de vida das populações.

Este novo enfoque admite que quase todos os aspectos do meio ambiente afetam potencialmente a saúde e constitui o ramo da saúde pública reconhecido como saúde ambiental:

Saúde ambiental são todos aqueles aspectos da saúde humana, incluindo a qualidade de vida, que estão determinados por fatores físicos, químicos, biológicos, sociais e psicológicos no meio ambiente. Também se refere à teoria e prática de valorar, corrigir, controlar e evitar aqueles fatores do meio ambiente que, potencialmente, possam prejudicar a saúde de gerações atuais e futuras (WHO, 2006)

A urbanização da população mundial é uma tendência crescente e tem suas origens na Revolução Industrial. Esse marco histórico propiciou grandes fluxos migratórios para as áreas urbanas, onde havia acesso à oferta de trabalho, alimentos, serviços de saúde e educação e

melhores oportunidades e condições de vida (FREITAS; PORTO, 2006).

No entanto, movimentos populacionais dessa magnitude aos centros urbanos causaram problemas relacionados ao saneamento e ao fornecimento de água adequada para o consumo humano. A esses problemas, típicos das primeiras fases das cidades, somaram-se outros, como a poluição química que afeta os solos, a água, a atmosfera e a cadeia alimentar (FREITAS; PORTO, 2006).

Nessa mesma esteira, Freitas e Porto (2006) avaliam que nem o crescimento econômico, nem a evolução do conhecimento científico e tecnológico significam, necessariamente, melhoria nas condições de vida das populações atuais. Apesar desta suposta evolução, o que se observa é uma transição epidemiológica, ou seja, um quadro de morbi-mortalidade marcado pelas doenças do “atraso” e da “pobreza” para doenças típicas da sociedade moderna (FREITAS; PORTO, 2006).

Navarro *et al* (2002) destacam que a degradação socioecológica é responsável pela disseminação de novos agentes etiológicos e também age como determinante de mudanças do padrão epidemiológico de doenças como dengue, febre amarela e doenças respiratórias, essas últimas, muitas vezes decorrentes da qualidade do ar das regiões urbanas.

Minayo (2002) procura compreender efeitos na saúde humana causados pelos desequilíbrios provocados pela dominação antropocêntrica da natureza, a partir do enfoque ecossistêmico. Esta abordagem está fundamentada na construção de nexos que vinculam estratégias de gestão do meio ambiente e a promoção da saúde humana, de maneira que uma melhor gestão ambiental possa contribuir com a redução do aparecimento e da transmissão de enfermidades.

Além disso, problemas ambientais presentes em regiões e aglomerados urbano-industriais decorrentes da poluição industrial, do consumo, e dos transportes conjugam-se com questões de infraestrutura básica. Tais questões, mais presentes em países pobres e de industrialização recente, podem ser exemplificadas como: saneamento, água para consumo humano, esgotamento sanitário, lixo e índices de poluição atmosférica (FREITAS; PORTO, 2006).

Schor (2008) reflete sobre a questão urbana na Amazônia, subestimada em relação à preocupação com a preservação da floresta, da biodiversidade, e à regulação do clima:

É fato também que a Região Amazônica tem entre 60-70% de sua população residentes em cidades, caracterizando-a, nos termos de Bertha Becker, como uma ‘floresta urbanizada’. A discussão, produção e fomento de ciência e tecnologia que gira em torno de temas ambientais ignoram em suas agendas os centros urbanos e, por conseguinte, as cidades, os povoados e vilarejos. Tratam tais espacialidades como

‘buracos negros’ que devem ser evitados, como se esses ambientes socioecológicos não fossem parte da natureza e não influenciassem o ecossistema (SCHOR, 2008, p. 58).

Poluição, do ponto de vista ecológico, “é definida como qualquer alteração da composição e das características do meio que cause perturbações nos ecossistemas, ou ainda, como uma interferência danosa nos processos de transmissão de energia” (BRILHANTE, 1999, p. 20). Consiste em distúrbios ambientais materializados em fatos ou fenômenos desfavoráveis diretos ou indiretos. Os primeiros são aqueles que causam prejuízos à saúde, aos bens ou à qualidade de vida (BRILHANTE 1999).

Navarro *et al* (2006) acrescentam que países em desenvolvimento costumam valorizar padrões de excelência tecnológica adotados em países ricos, mas ignoram a saúde com parte essencial das questões sociais e ambientais agudas. Segundo os autores, essas questões sociais decorrem da desigualdade, da exclusão e da injustiça.

Freitas e Porto (2006) sublinham a importância de estudos interdisciplinares e de abordagens integradas na análise e solução de problemas de saúde e ambiente. Dessa forma, é possível incorporar a pluralidade de dimensões e perspectivas que caracterizam sua complexidade.

A compreensão dos problemas de saúde a partir de uma visão global permite a identificação de ações que devem ser implementadas em diversas etapas, do nível macro ao micro, para reversão e problemas em busca de sociedades mais justas e saudáveis.

Compreender problemas de saúde e ambiente a partir de um enfoque sistêmico, integrado e participativo, é fundamental para que propostas de um cenário alternativo de desenvolvimento econômico e social possam resultar em balanços mais positivos entre os benefícios e os prejuízos dele decorrentes. Especialmente para o campo da saúde pública, tal desafio é estratégico para desenvolver e implementar ações de promoção da saúde. (FREITAS; PORTO, 2006, p. 305).

Ao mesmo tempo, o sistema de governança das cidades age no sentido de gerir crises, ao invés de priorizar um sistema de longo prazo. Saldiva (2018, p.19) assinala que “gerir crises sem o devido planejamento de futuro tornou as megacidades ineficientes, virtualmente insustentáveis e, como consequência, pouco saudáveis”. Episódios de névoa de fumaça provenientes de queimadas que se repetiram em Manaus, destacadamente no ano de 2015, podem indicar que o sistema de governança ambiental ao qual está submetida a cidade de Manaus, também pode incorrer nesse tipo de estratégia.

1.4.1 A Poluição do Ar nas Cidades e suas Implicações na Saúde

A OMS relaciona evidências científicas sobre a relação entre poluição do ar e certas doenças, incluindo doenças cardíacas, pneumopatias e câncer. A Entidade salienta que quanto mais baixos os níveis de poluição do ar, melhor a saúde cardiovascular e respiratória da população, tanto no longo quanto no curto prazo (OMS, 2018).

O Ministério do Meio Ambiente pontua que, de maneira geral, os efeitos dos poluentes atmosféricos na saúde humana estão associados à sua solubilidade nas paredes do aparelho respiratório, fato que determina a quantidade capaz de atingir as regiões mais profundas do pulmão (BRASIL, 2020).

Poluição do ar é “a presença de contaminantes ou de substâncias poluidoras no ar atmosférico, sejam eles gases, materiais particulados e compostos orgânicos voláteis, que interfiram na saúde e no bem-estar humano, ou ainda causem efeitos danosos ao meio ambiente” (INCA, 2018). A OMS, por seu turno, designa poluição do ar como “a contaminação do ambiente interno ou externo por qualquer agente químico, físico ou biológico que modifique as características naturais da atmosfera” (OMS, 2016)

A distinção feita pela OMS (2018) é relativa à poluição do ar ao ar livre e à poluição doméstica, esta última provocada pela queima de esterco, madeira e carvão para alimentar fogões ineficientes ou lareiras, e ainda a queima de querosene em lâmpadas de pavio simples.

A Resolução CONAMA 491/2018, embora não adote definição expressa de poluição do ar, o faz em relação a poluente atmosférico nos seguintes termos:

[...] 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’ (CONAMA, 2018, p. 1).

Diniz, Slovic e Ribeiro (2017) advertem que nas cidades, atualmente, a poluição atmosférica é um dos principais problemas de saúde ambiental que afetam as populações. Esses poluentes, segundos os autores, são gerados por fenômenos naturais, indústrias, ou veículos de combustão interna.

A OMC classifica os poluentes como primários e secundários. Os poluentes primários são aqueles emitidos na atmosfera diretamente por uma fonte, como uma chaminé de fábrica, o escapamento de um carro, ou a partir de partículas contaminadas suspensas espalhadas pelo vento. Os poluentes secundários, por sua vez, são aqueles formados na própria atmosfera a

partir de reações químicas entre poluentes primários e componentes naturais da atmosfera, como oxigênio e água (WHO, 2005). Saldiva (2018) acrescenta que essas interações ocorrem também pelo efeito da radiação ultravioleta solar ou a partir da combinação dos elementos entre si.

Os gases mais importantes da poluição primária são óxidos de nitrogênio, de carbono e de enxofre, compostos orgânicos voláteis e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos. Entre os poluentes secundários, o ozônio é o gás mais representativo, e as partículas secundárias mais comuns são os sulfatos e os nitratos (SALDIVA, 2018).

Outra importante distinção é feita em relação ao estado físico do poluente. Assim, essas substâncias são classificadas em poluentes gasosos e particulados. Poluentes gasosos estão presentes na forma de gases ou vapor, ou seja, como pequenas moléculas individuais capazes de atravessar filtros que não os absorvam ou reajam quimicamente com essas substâncias. Poluentes particulados são os materiais de diversos tamanhos, primários ou secundários, em estado sólido ou líquido que estão suspensos na atmosfera (WHO, 2005).

As partículas atmosféricas são consistentemente associadas com danos à saúde humana, não só por sua composição, como também por suas características aerodinâmicas. Partículas finas e ultrafinas, com diâmetro inferior a 2,5 milésimos de milímetro – ou PM 2,5 – conseguem se depositar de forma eficiente nas porções mais profundas do pulmão (SALDIVA, 2018).

Uma outra divisão é feita em relação às fontes de poluição. Essas fontes podem ser classificadas como pontuais, móveis ou de área. Fontes pontuais ou fixas são aquelas que podem ser relacionadas a um ponto fixo de emissão, dentro de uma escala territorial determinada, como uma estação de produção de energia ou uma instalação industrial individual. Fontes de linha são aquelas onde há rotas comuns, comumente relacionada ao tráfego de veículos ou de trens, e é dividida por trechos de cruzamento. Fontes de área ou difusas são as que se espalham por uma região espacialmente significativa, como em uma cidade onde cada casa possui uma caldeira de aquecimento (WHO, 2005).

Entidades notórias no Brasil que tratam do tema da poluição atmosférica, como o Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2020) e a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2019) classificam as fontes como fixas ou estacionárias, e móveis. Fontes fixas são aquelas que ocupam uma área relativamente limitada, permitindo uma avaliação direta na fonte. As fontes móveis são as que se dispersam pela comunidade, não sendo possível a avaliação na base de fonte por fonte (BRASIL, 2020).

Relativamente às propriedades de alguns tipos de fontes, a Organização Mundial de

Saúde (WHO, 2005) faz os seguintes destaques:

- a) Transporte rodoviário: emissões de tráfego rodoviário estão entre as principais, independentemente do tamanho ou uso do veículo, embora os mais modernos disponham de dispositivos de controle de emissões. Os poluentes mais comuns emitidos a partir da combustão de petróleo ou diesel em veículos são: monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio, compostos orgânicos voláteis e partículas suspensas;
- b) Combustão de fontes estacionárias: a queima de combustível fóssil em plantas estacionárias são as principais fontes de emissão em muitos países. Um exemplo desse tipo de fonte são as usinas de energia de países em desenvolvimento. Os principais poluentes são óxidos de nitrogênio, dióxido de enxofre, quando o enxofre está presente no combustível, e compostos orgânicos voláteis;
- c) Outras fontes industriais: ampla gama de indústrias e de processos industriais emitem não só poluentes clássicos, como também poluentes exóticos. Esses poluentes podem ser oriundos de um processo ou produto específico;
- d) Fontes intermitentes ou mal definidas: em termos globais, incêndios florestais e queima de biomassa representam a principal fonte de emissões de combustão, incluindo óxidos de nitrogênio, monóxido de carbono, compostos orgânicos voláteis e material particulado;
- e) Fontes naturais: a natureza é uma importante fonte de emissão de gases traços e partículas na atmosfera. Uma das contribuições da natureza para a poluição atmosférica mais conhecida é a liberação biogênica de compostos orgânicos voláteis pelas árvores e outras vegetações. Essas substâncias compreendem isopreno, terpeno e outros que contribuem para a formação do ozônio troposférico e material particulado orgânico secundário.

Embora a poluição atmosférica tenha o potencial de afetar a todos, Dinis, Slovic e Ribeiro (2017) alertam que algumas populações carregam cargas maiores de doenças relacionadas à poluição atmosférica. Essa vulnerabilidade é encontrada principalmente em crianças e idosos, mas alguns estudos também a correlaciona a mulheres grávidas e recém-nascidos (DINIZ; SLOVIC; RIBEIRO, 2017).

1.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A economia neoclássica, representada pela economia ambiental, trouxe avanços à

teoria econômica no sentido de incorporar as questões ambientais aos seus modelos. A valoração dos bens e serviços ambientais é uma ferramenta razoavelmente bem difundida no sentido de subsidiar estudos acadêmicos e políticas governamentais, tanto para revelar a importância do capital natural, como para modular o comportamento dos agentes econômicos, a partir da internalização das externalidades.

Ainda assim, a economia ambiental recebe críticas pela visão otimista de que os impedimentos encontrados no meio ambiente ao crescimento econômico, podem ser superados indefinidamente pelo avanço tecnológico. Dessa maneira, a preocupação central da economia ambiental é o bem-estar dos indivíduos e a alocação ótima de recursos.

As formas de regulação do controle de emissões de frota e de atividades fabris potencialmente poluidoras da cidade de Manaus seguem a lógica da economia ambiental. A forma de regulação diz respeito à modulação do comportamento dos indivíduos a partir da imposição de regramentos que regulam limites aceitáveis de emissão de poluentes

A economia ecológica, por outro lado, tem como ponto de partida a premissa de que a economia é parte de um sistema maior que a alberga. Essa visão reconhece os limites biofísicos que impõem limites ao sistema econômico, o que lhe enquadra no conceito de sustentabilidade forte. A análise dos economistas ecológicos está fundamentada na conjunção de conceitos provenientes das ciências naturais e das ciências sociais, tornando-a mais adequada para avaliação mais integrada e geral acerca da complexa dinâmica que existe entre o sistema natural e o econômico.

De certo que o sistema econômico deve evoluir no sentido de preservar os sistemas de sustentação da vida, não apenas para garantir sua perpetuação no tempo, mas para a perpetuação da própria vida humana. Estudos do campo da saúde ambiental reforçam os efeitos deletérios da poluição ambiental para a saúde das pessoas, sobretudo daquelas expostas diretamente às emissões de poluentes provenientes de ações antrópicas.

A partir dos conceitos aqui explanados, e de duas vertentes econômicas que se distinguem sobre aspectos tão relevantes acerca das interrelações entre o sistema econômico e o meio ambiente, é que se buscará compreender a adequação do pensamento neoclássico ao modelo de crescimento adotado na maior parte dos países. A corrente neoclássica é o pensamento predominante entre os economistas da atualidade, mas sua abordagem sobre o meio ambiente pode ser complementada a partir de novas abordagens capazes de equalizar conflitos entre o crescimento e a utilização racional dos recursos.

Modular o comportamento dos agentes econômico ao regular o nível de emissões, ou ao taxar as emissões que ultrapassam os limites estabelecidos, são medidas de política

governamental importantes no sentido de compatibilizar a atividade produtiva com níveis aceitáveis da qualidade do ar. Podem, no entanto, não serem suficientes. A economia ecológica, por seu turno, oferece um modelo teórico inovador acerca desse modo de interação do sistema econômico com o sistema ecológico.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, G. **Indicadores de desenvolvimento sustentável e a “sustentabilidade forte”**: uma análise teórica dos indicadores para o planejamento da transição à sustentabilidade. ENEGEP: São Carlos, 2010.
- ANDRADE, D. Economia e meio ambiente: aspectos teóricos e metodológicos nas visões neoclássica e da economia ecológica. **Leituras de Economia Política**, Campinas, (14): 1-31, ago-dez, 2008.
- AMAZONAS, M. **O que é economia ecológica?**. Disponível em: <http://ecoeco.org.br/economia-ecologica/> . Acessado em 20/11/2020.
- AVISSAR, Y. *et al.* **Biology**. Rice University: Texas, 2018.
- BARONI, F. **A Teoria Múltipla das Finanças Públicas Revisitada**. Disponível em: <chrome-extension://oemmndcblldboiebfnladdacbfmadadm/http://www.anpad.org.br/admin/pdf/enanpad2001-gpg-421.pdf>. Acesso em 7/1/2021.
- BECKER, B. Ciência, Tecnologia e Inovação: condição do desenvolvimento sustentável na Amazônia. **Parcerias Estratégicas**, Vol. 15, Nº31, 2010.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Cidades Sustentáveis: Qualidade do ar. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar>. Acesso em: 03/12/2019.
- BRILHANTE, O. **Gestão e avaliação de risco em saúde ambiental**. [online]. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 1999.
- BRUNDTLAND, H. **Our Common Future**. Report of the World Commission on Environment and Development. New York City: United Nations, 1987.
- BURGENMEIER B. **The misperception of Walras**. The American Economic Review, Vol. 84, No. 1, pp. 342-352, 1994.
- CETESB. **Qualidade do ar no Estado de São Paulo**. São Paulo: CETESB, 2019.
- COMMON, M., STAGL, S. **Ecological economics: an introduction**. Cambridge: University Press, 2005.
- COSTANZA, R. **Social goals and the valuation of ecosystem services**. Ecosystems, v. 3, p. 4-10, 2000.
- COSTA, C. **Notas de Economia do Setor Público**. Rio de Janeiro: EPGE/FGV, 2010.
- FEIL, A.; SCHREIBER, D. **Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável**: desvendando as sobreposições e alcances de seus significados. Caderno EBAP.B, V. 14, nº 3, Rio de Janeiro, Jul./Set., 2017.
- FREITAS, C. PORTO, M. **Saúde, ambiente e sustentabilidade**. Rio de Janeiro: FIOCRUZ,

2006.

GIACOMELLI, G. *et al.* Da economia tradicional do bem-estar à Abordagem das Capacitações e a importância da equidade em saúde para o desenvolvimento humano. **Nova Economia**, revista. v.27n.1p.89-115, 2017

HERSCOVICI, A. **A economia neoclássica: uma análise lakatosiana da cheia do mainstream até sua implosão.** Revista de Economia Política. 35 (4), 2015.

INCA. **Poluição do ar.** Disponível em: <https://www.inca.gov.br/exposicao-no-trabalho-e-no-ambiente/poluentes/poluicao-do-ar>. Acesso em: 20/02/2020.

MACAU, E. **Sistemas Complexos.** São José dos Campos: INPE, 2005.

MINAYO, M. Enfoque ecossistêmico de saúde e qualidade de vida. in: **Saúde e Ambiente Sustentável: estreitando nós.** MINAYO, M.; MIRANDA, A. (orgs). Rio de Janeiro: Fiocruz, 2002.

MUELLER, C. **A Teoria dos Bens Públicos e a Teoria do Bem Estar.** Estudos Econômicos, v.2. São Paulo: USP, 1972.

MUELLER, C. **O debate dos economistas sobre a sustentabilidade.** Estudos Econômicos, v.35, n.4, p.687-713, 2005.

MUELLER, C. **Os economistas e as inter-relações entre o sistema econômico e o meio ambiente.** Brasília: UNB, 2007.

MUSGRAVE, R. **Teoria das Finanças Públicas.** São Paulo: Atlas, 1974.

NAVARRO *ET AL.* Doenças emergentes e reemergentes, saúde e ambiente. in: **Saúde e Ambiente Sustentável: estreitando nós.** MINAYO, M.; MIRANDA, A. (orgs). Rio de Janeiro: Fiocruz, 2002.

RIVAS, A. *et al.* Princípios teóricos sobre instrumentos econômicos e a gestão ambiental. in: **Valoração e instrumentos econômicos aplicados ao meio ambiente: alternativas para proteger a Amazônia.** Alexandre Almir Ferreira Rivas, Carlos Edwar de Carvalho Freitas, Renata Reis Mourão (Orgs.). Manaus : Instituto I-Piatam, 2008.

RIBEIRO, H. Air pollution and respiratory diseases in children in São Paulo, Brazil. **Social Science & Medicine.** Vol. 29, n. 8, pp. 959-964, 1989.

ROMEIRO, A. O papel dos indicadores de sustentabilidade e da contabilidade ambiental. In: ROMEIRO; Ademar Ribeiro (org.). **Avaliação e contabilização de impactos ambientais.** Campinas: Editora Unicamp/Imprensa Oficial, 2004.

ROSSETI, J. **Introdução à economia.** 17. Ed. São Paulo: Atlas, 1997.

SACHS, I. **Desenvolvimento: incluyente, sustentado, sustentável.** Rio de Janeiro: Garamond, 1927.

SALDIVA, P. **Vida urbana e saúde: o desafio dos habitantes das metrópoles.** São Paulo:

Contexto, 2018.

SANDRONI, P. **Dicionário de Economia**. São Paulo: Best Seller, 1999.

SCHOR, T. Da rabeta ao 4x4: a expansão da modernidade (e seu colapso) na fronteira norte do Brasil. **Revista Ciência e Ambiente**, n. 37, 2008.

SLOVIC, A., DINIZ, C., RIBEIRO, H. Clean air matters: an overview of traffic-related air pollution and pregnancy. **Rev. Saúde Pública**, vol. 51, p. 5, Jan. 2017.

THE CLUB OF ROME. **About the Club of Rome**. Disponível em: <https://www.clubofrome.org/about-us/>. Acesso em 17/1/2021, 13h14.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Preventing disease through healthy environments**. Geneva, Switzerland: WHO; 2005.

CAPÍTULO 2 – AS PRINCIPAIS FONTES ANTRÓPICAS DE MATERIAL PARTICULADO PRESENTES NA ÁREA URBANA DE MANAUS

Resumo: As principais fontes antrópicas identificadas na área urbana de Manaus foram a geração de energia termelétrica, a frota de veículos, e o refino de petróleo. Este Capítulo teve como objetivo analisar o modo como as principais ações antrópicas de poluição do ar evoluíram em Manaus nos últimos anos, e estimar o montante de emissão de material particulado anual das principais atividades industriais urbanas potencialmente poluidoras nos anos de 2014 a 2019. Foram feitas estimativas de emissão de material particulado provenientes da geração de energia termelétrica e da frota com base em fatores de emissão condizentes com as características do processo de geração e do combustível utilizado, no primeiro caso; e do quantitativo da frota, intensidade de uso, combustível utilizado e idade média ponderada da frota, no segundo caso. Para compor o total de emissão do poluente, foi somada a quantidade total de material particulado calculado e declarado pela Refinaria de Manaus. Verificou-se que a geração de energia termelétrica foi a principal fonte de emissão de material particulado na área urbana de Manaus durante quase todo o período analisado, mas com sucessivas e expressivas reduções a partir da introdução do gás natural na matriz energética da cidade. No último ano da série, a principal fonte de emissão de material particulado em Manaus foi a frota de veículos, uma tendência condizente com grandes centros urbanos do Brasil e do mundo.

Palavras-chave: Poluição atmosférica. Geração de energia termelétrica. Frota de Veículos. Refino de Petróleo.

INTRODUÇÃO

A urbanização da população é uma tendência cuja origem remete ao período da Revolução Industrial. A partir desse marco histórico, o crescimento das cidades permitiu-lhes o oferecimento de um farto conjunto de oportunidades e serviços a seus habitantes, tais como oferta de trabalho, assistência em saúde, educação, lazer, cultura, dentre outros. Mas esse crescimento nem sempre ocorre de forma equilibrada, de tal modo que a poluição ambiental, particularmente a poluição atmosférica urbana, se constitui como um dos principais fatores de degradação da qualidade de vida das populações (MENDES, 2006).

Com características igualmente presentes em outras grandes cidades do Brasil e do mundo, Manaus também padece dessa realidade, mas com algumas distinções que lhe conferem certa peculiaridade. A capital, localizada no centro da maior floresta tropical do mundo, tem população estimada em 2.182.763 pessoas (IBGE, 2019). É, por tradição, a área de maior importância econômica da Amazônia Ocidental (GARCIA 2004), e reúne em seu território as principais fontes antrópicas de poluição do ar.

Silva (2018) salienta que a atmosfera amazônica possui baixas concentrações de poluentes no período chuvoso, comparáveis às de antes do período industrial. No entanto, no núcleo urbano da capital se desenvolve grande parte da produção econômica do Estado do

Amazonas. Manaus contabilizou o sexto maior Produto Interno Bruto entre as capitais brasileiras no ano de 2018, quando o referido indicador representou o montante de 78% do PIB de todo o Estado (IBGE, 2021).

Dados do IBGE (2021) revelam que Manaus foi o município com o terceiro maior valor adicionado bruto a preços correntes da indústria entre todos os demais municípios brasileiros no ano de 2018, perdendo apenas para Rio de Janeiro e São Paulo. De acordo com Holland *et al* (2019, p. 8), “o modelo Zona Franca de Manaus (ZFM) permitiu a constituição de um sofisticado parque industrial na região, com a instalação de grandes empresas com as melhores práticas competitivas”.

O Polo Industrial de Manaus – PIM - abriga mais de 500 plantas fabris, e os dados de faturamento, emprego e investimento explicam o importante peso da indústria de transformação para a economia do Estado do Amazonas (SUFRAMA, 2019). Sobre eventuais impactos ambientais das indústrias do PIM, Rivas *et al* (2008, p. 187) apontam que o Polo Industrial de Manaus – PIM - “parece exercer efeito ambiental positivo pelo tipo de indústrias que alberga: as denominadas indústrias sem chaminés, as quais agregam tecnologias de processo com reduzida geração de resíduos poluentes”.

Embora o perfil típico da indústria amazonense não seja de grandes emissores de poluentes, grande parte da infraestrutura econômica da cidade foi instituída para viabilizar esses empreendimentos produtivos, sobretudo a partir da década de 1960. Também, essa infraestrutura; a exemplo do parque energético, da estrutura viária e do sistema de transporte, foi constituída ou adequada ao longo das décadas subsequentes em resposta às demandas provenientes da chegada de novos empreendimentos e do paralelo aumento populacional, mas nem sempre da forma mais adequada sob o ponto de vista ambiental.

Processos industriais baseados em queima de combustíveis fósseis são um dos maiores fatores de emissão de poluição do ar. Estão ao lado de fontes móveis – como veículos; estações de energia; fontes intermitentes e sem definição, como queimadas; além de fontes naturais, como a própria floresta (WHO, 2005). Mendes (2006) reforça que no meio urbano as fontes poluidoras antropogênicas típicas são principalmente o tráfego de automóveis e, quando existente, a atividade industrial.

Os poluentes atmosféricos são emitidos a partir de fontes diversas e são dispersados até atingirem seus vários receptores, seja por deposição gravítica úmida - como lavagem da chuva, por exemplo; seja por deposição gravítica seca – por meio da adsorção de partículas⁹

⁹ De acordo com o Dicionário Oxford (2009) adsorção é o processo mediante o qual átomos, moléculas ou íons são retidos na superfície de sólidos através de interações de natureza química ou física.

(MENDES, 2006). Os gases mais importantes da poluição primária são óxidos de nitrogênio, de carbono e de enxofre, compostos orgânicos voláteis e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos. Entre os poluentes secundários, o ozônio é o gás mais representativo, e as partículas secundárias mais comuns são os sulfatos e os nitratos (SALDIVA, 2018).

Conquanto os mencionados poluentes tenham, cada um, potencial de dano patológico e ambiental, há farto material acadêmico cujo propósito é a investigação dos eventuais efeitos epidemiológicos decorrentes da concentração de material particulado na atmosfera. Também conhecido como matéria particulada, partículas totais em suspensão, fumaça preta ou partículas respiráveis, o resíduo pode ser composto por material sólido, líquido ou ambos.

O material particulado é constituído de um núcleo de carbono com produtos químicos, tais como sulfatos, metais e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos adsorvidos para sua superfície. Ademais, partículas secundárias podem ser formadas a partir de reações químicas na atmosfera entre partículas primárias e gases, tais como: óxidos de nitrogênio, ozônio e óxidos de enxofre, levando a formação de nitratos e amônia. Todavia, a composição específica pode variar segundo a região, época do ano, hora do dia, condições climáticas, dentre outros fatores (WHO, 2006).

Outra distinção importante concernente às características do material particulado é feita em relação a sua dimensão aerodinâmica. Partículas com um diâmetro inferior a 10 micrômetros são nomeadas PM 10; as partículas com um diâmetro inferior a 2,5 micrômetros são chamadas PM_{2,5}, ou partículas finas; e partículas com um diâmetro inferior a 0,1 micrômetro são chamados PM_{0,1} - também conhecidas como partículas ultrafinas. Quanto menor a dimensão da partícula, maior é sua capacidade de atingir as regiões mais distais do pulmão, como bronquíolos terminais e alvéolos (WHO, 2013).

Assim, este Capítulo tem como objetivo analisar o modo como as principais ações antrópicas de poluição do ar evoluíram no centro urbano de Manaus, bem como estimar o montante de emissão de material particulado anual das principais atividades industriais urbanas potencialmente poluidoras no período de 2014 a 2019.

Partindo-se da premissa de que a indústria tradicionalmente relacionada ao Polo Industrial de Manaus não é caracterizada por emissões relevantes de poluentes (HOLLAND *et al*, 2019) (RIVAS *et al*, 2009) foram selecionadas as atividades de refino de petróleo (MARIANO, 2001) e de geração de energia termelétrica (SILVA, 2018), estas, sim, ramos da indústria reconhecidas pela sua potencial capacidade de poluição do ar, para a estimativa anual de suas emissões de material particulado.

Nada obstante, foi estimado também o montante de material particulado emitido pela

frota de veículos de Manaus, tendo em vista ser esta uma relevante fonte móvel de poluentes nas grandes cidades, conforme indicado por CETESB (2019), Saldiva (2018), Ribeiro (1989), Mendes (2006), Martins *et al* (2001), Mendes e Silva (2006), Philippi Jr e Bruna (2004), dentre outros.

2.1 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1.1 Caracterização da Área e Período de Estudo

O local de estudo será a área urbana da cidade de Manaus, capital do Estado do Amazonas, no Brasil. Localiza-se à margem esquerda do rio Negro, em uma área de 483 km², dos 11.401,092 km² da área total do município. Trata-se da capital mais populosa da Amazônia Brasileira, com população estimada em 2.182.763 habitantes no ano de 2019 (IBGE, 2019).

Manaus está situada na Amazônia Central, na porção Ocidental da Amazônia Legal, onde o clima é quente e úmido. Os maiores índices de radiação solar que chegam na superfície ocorrem nos meses de setembro e outubro e os mínimos ocorrem nos meses de dezembro a fevereiro. Os extremos de temperatura ocorrem nos meses de setembro e abril (FISCH; MARENGO; NOBRE, 1998). A capital é um grande centro urbano em meio à maior floresta tropical do planeta. As interações entre as emissões antropogênicas da cidade e a atmosfera amazônica “constitui um laboratório a céu aberto, único para o estudo dos efeitos das atividades humanas na qualidade do ar, nos padrões de precipitação, nos ecossistemas e no clima em um ambiente tropical” (SILVA, 2017, p. 1)

O período escolhido para avaliação é de 2014 a 2019. Esse horizonte temporal foi determinado a partir da disponibilidade de dados oficiais para períodos coincidentes tanto para a geração de energia e da frota de veículos, quanto para os dados de refino. De qualquer maneira, o recorte temporal engloba o início da crise¹⁰ que eclodiu ao final do ano de 2014 no Brasil, com lenta e gradual recuperação ainda em curso. Barbosa Filho (2017) sublinha que a observação dos componentes da demanda do Produto Interno Bruto – PIB – mostra que consumo e investimento vêm se reduzindo desde 2014. Este fato pode ter interferido na aquisição de veículos, na geração de energia termelétrica e na produção industrial do Amazonas.

¹⁰ Barbosa Filho (2017) afirma que a crise econômica iniciada em 2014 foi fruto de uma combinação de choques de oferta e demanda que produziu uma redução da capacidade de crescimento da economia brasileira. 1

2.1.2 Dados e Métodos

Os dados da pesquisa foram provenientes de coleta documental (LAKATOS; MARCONI, 2003), a partir de bancos de dados e registros administrativos de órgãos oficiais, publicados na rede mundial de computadores.

A quantificação de poluentes pode ser feita mediante testes de emissão específicos para uma determinada fonte, ou ainda por meio de estações de monitoramento contínuo de emissões. Portanto, tratam-se de métodos mais precisos para quantificar as emissões atmosféricas mas, em geral, os dados de teste nem sempre estão disponíveis e os custos costumam ser elevados (EPA, 2000).

Alternativamente, podem ser aplicados os fatores de emissão. De acordo com EPA (2000), fator de emissão é um valor representativo que tenta relacionar a quantidade de um poluente lançado na atmosfera com uma atividade associada ao lançamento desse poluente. Esses fatores são geralmente expressos como a massa de um poluente dividido por uma unidade de volume, energia ou duração da atividade que emite o poluente. A Figura 2.1 demonstra a relação entre custo e confiabilidade dos métodos para monitoramento de emissões.

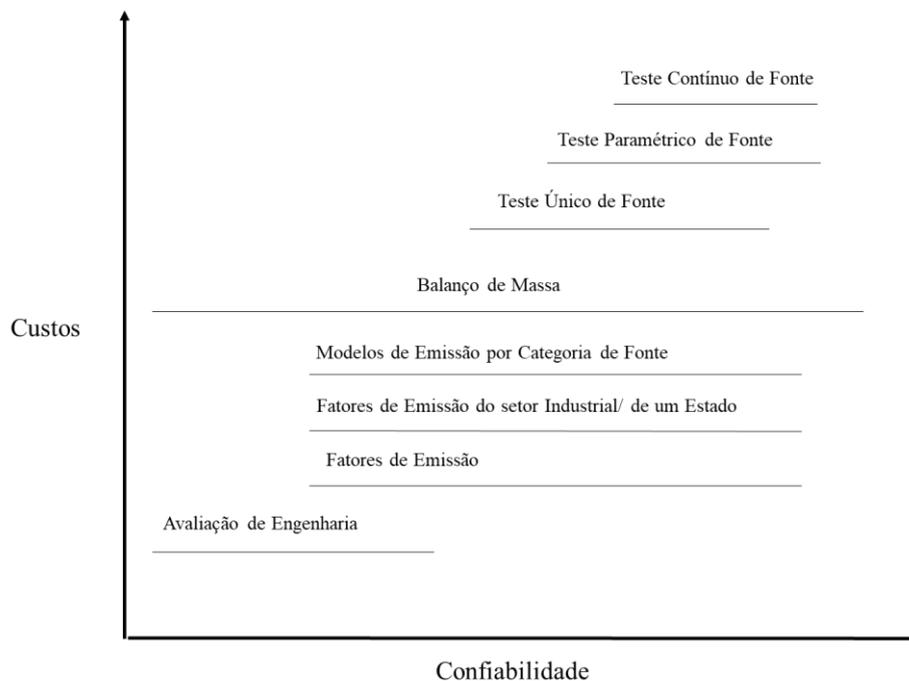


Figura 2.1 – Custos e Confiabilidade de Métodos para Inventário de Emissões

Fonte: Adaptado de EPA, 2001

A utilização do fator de emissão facilita a estimativa das emissões de várias fontes de poluição do ar. Em grande parte dos casos, esses fatores representam as médias de todos os

dados disponíveis (EPA, 2000). Além disso, esse método procura quantificar as emissões de poluentes atmosféricos a partir de dados de operação de empreendimentos e fatores de emissão específicos para cada poluente em cada tipologia de fonte, associados sempre a aspectos tecnológicos do processo e de mecanismos de controle de poluentes (COELHO, 2014).

A Agência Ambiental dos Estados Unidos (EPA, 2000), que organizou uma série de relatórios com a compilação de fatores de emissão de diversas fontes intitulada AP-42, determina a seguinte equação geral para determinação da estimativa de emissões:

$$E = A \times EF \times (1 - ER / 100)$$

Onde:

- E = emissões;
- A = taxa de atividade;
- EF = fator de emissão, e
- ER = eficiência geral de redução de emissões, %

2.1.2.1 Dados e Método para Estimativa de Emissões da Geração de Energia Termelétrica

Informações sobre geração mensal, por tipo de combustível, em MWh, das principais usinas termelétricas em operação em Manaus foram fornecidas pela Amazonas Geração e Transmissão de Energia S.A. por meio do Sistema de Acesso à Informação do Governo Federal.

A seleção das Usinas de Manaus que utilizam combustível de origem fóssil foi feita a partir de relação disponibilizada no sítio do Operador Nacional do Sistema. Das dezenove usinas listadas, foram selecionadas nove, cuja potência outorgada corresponde a 99% do total.

Quadro 2.1 – Lista de Usinas Termelétricas de Manaus Selecionadas e Potência Instalada

USINA	POTÊNCIA OUTORGADA (Kw)
Aparecida	590.750
Mauá	462.564
Mauá 3	240.740

Quadro 2.1 – Lista de Usinas Termelétricas de Manaus Selecionadas e Potência Instalada (Continuação)

USINA	POTÊNCIA OUTORGADA (Kw)
Flores	95.400
Tambaqui	93.037
Jaraqui	85.380
Manauara	75.477
Cristiano Rocha	68.304

Fonte: Elaboração Própria com dados do ONS, 2020

A equação aplicada para estimar as emissões de material particulado das usinas termelétricas é proposto pela Agência Ambiental dos Estados Unidos (EPA, 2000), nos seguintes termos:

$$E_{ij} = A_i * EF_j * \left(1 - \frac{ER_j}{100}\right) \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

E_{ij} = Emissões em toneladas [t] de determinado poluente (i) para determinada usina (j);

A_i = Combustível consumido em terajoule [TJ] em determinada usina (i);

EF_j = Fator de emissão em toneladas por terajoule [t/TJ];

ER_j = Eficiência de redução do sistema de redução do sistema de controle de emissão de determinado poluente [%].

Na mesma linha de Coelho (2014), os dados utilizados foram os de geração, e não o de combustível, de forma que foi necessário transformar a quantidade de energia gerada em energia de combustível consumida. Para tanto, é possível utilizar a equação abaixo, desde que conhecida a eficiência térmica do sistema.

$$A_i = \frac{EG_i * f}{e_i} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

A_i = Combustível consumido em determinada usina (i) em Terajoule (TJ);

EG_i = Energia gerada em determinada usina em Mwh;

f = Constante de conversão de MWh para TJ [TJ/MWh];
 e_i = Eficiência térmica de determinada usina i [%].

Portanto, substituindo-se a Equação 2 na Equação 1, tem-se:

$$E_{ij} = \frac{EG_i * f * EF_j}{e_i} * \left(1 - \frac{ER_j}{100}\right) \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

E_{ij} = Emissões em toneladas [t] de determinado poluente (i) para determinada usina (j);

EG_i = Energia gerada em determinada usina em Mwh;

f = Constante de conversão de MWh para TJ [TJ/MWh];

EF_j = Fator de emissão em toneladas por terajoule [t/TJ];

e_i = Eficiência térmica de determinada usina i [%].

ER_j = Eficiência de redução do sistema de redução do sistema de controle de emissão de determinado poluente [%].

Os fatores de emissão para cada tipo de combustível utilizado foram obtidos da série de relatórios AP-42 da Agência Ambiental dos Estados Unidos (EPA, 2000). Ressalva-se que no caso do gás natural e do óleo combustível, a Agência fornece fatores de emissão sob várias condições, incluindo-se plantas que utilizam mecanismos de redução de emissão e os que não utilizam. Contudo, essa opção não é disponibilizada na publicação para o caso do óleo diesel, cujo relatório da Agência não considerava redução de emissão para mencionado combustível. Assim, optou-se aplicar sobre o fator de emissão uma redução de 52,7%, valor indicado pelo Instituto de Energia e Meio Ambiente quando a Usina utiliza o método Ciclone, para manter a compatibilidade com os demais combustíveis (VISCONDI *et al*, 2016).

A tabela a seguir revela os fatores de emissão nas unidades originais coletadas na publicação, bem como os valores transformados segundo os fatores de conversão relacionadas no Anexo I, constantes no Atlas de Energia Elétrica do Brasil (EPE, 2020). A constante de conversão de MWh para TJ é de 0,0036 (EPE, 2020).

Tabela 2.1 – Fatores de Emissão e de conversão para geração termelétrica, por combustível

Combustível	Fator de Emissão EPA	Unidade de Medida EPA	Fator de Conversão	Fator de Emissão T/TJ
Gás Natural	0,01	Lb/MMBTu	0,429945	0,002850536
Óleo Diesel	0,0007	Lb/MMBTu	168,96581	0,118276064*
Óleo Combustível	9,19	Lb/10 ³ gal	64,49175355	0,142499

Fonte: Elaboração própria com dados de EPA (2000) e EPE (2020)

* Foi aplicada redução de 52,7%, percentual obtido com o método de controle “Ciclone” (VISCONDE *et al.*, 2016) ao Fator de Emissão, já que na publicação da EPA não constavam fatores de emissão com controles de emissão, como os demais combustíveis. Para o cálculo das estimativas, foi aplicado o fator de emissão de 0,6.

Por fim, a eficiência das usinas em função do tipo de ciclo térmico foi estabelecida com base em Xavier (2004), e constam na tabela a seguir.

Tabela 2.2 – Eficiência Térmica em função do Ciclo Térmico Empregado (%)

Combustível Fóssil	CTS	CTC	MP
Óleo Diesel	29 ^a	-	29 ^a
Óleo Combustível	30 ^a	38 ^a	-
Óleo Ultra viscoso	30 ^b	-	-
Gás de Refinaria	20 ^c	20 ^c	20 ^c
Gás Natural	36 ^a	54 ^a	-
Carvão Mineral	29 ^a	40 ^a	-
Mistura Combustível Fóssil	20 ^c	-	20 ^c

Notas:

CTS – Ciclo Térmico Simples

CTC – Ciclo Térmico Combinado

MP – Motor Pistão

(a) – valor médio, calculado com base em respostas de questionários

(b) – valor assumido igual ao óleo combustível

(c) – valor assumido

Fonte: Adaptado de Xavier (2004)

2.1.2.2 Dados e Método para Estimativa de Emissões da Frota de Veículos

Informações sobre os veículos que transitam em Manaus, como quantidade, combustível e idade da frota foram retiradas do Departamento Nacional de Trânsito – DENATRAN (2020). Para composição do cálculo de emissão de material particulado, foi utilizado o estoque de veículos do mês de dezembro de cada ano, ou seja, a quantidade de veículos em Manaus, por tipo, no referido mês de cada ano. A equação utilizada para a

mensuração dessa variável foi:

$$\sum_{veic} MP_{2,5}; MP_{10} = Q_{veic i} * IU_{veic i} (Emis_{PM_{2,5} veic i} + Emis_{PM_{10} veic i}) + Q_{veic j} * IU_{veic j} (Emis_{PM_{2,5} veic j} + Emis_{PM_{10} veic j}) + Q_{veic n} * IU_{veic n} (Emis_{PM_{2,5} veic n} + Emis_{PM_{10} veic n})$$

Onde:

$\sum_{veic} PM_{2,5}, PM_{10}$ = Somatório de emissões de PM_{2,5} e PM₁₀ de veículos automotores;

Q_{veic} = Quantidade de veículos;

$Emis_{PM_{veic}}$ = Fator de Emissão de Material Particulado atribuídas ao veículo

$IU_{veic i}$ = Intensidade de uso do veículo

Os fatores de emissão foram adequados de acordo com o tipo de veículo, combustível e intensidade de uso, segundo os parâmetros constantes na publicação intitulada “Relatório de Emissões Veiculares no Estado de São Paulo”, elaborado anualmente pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB (2019). Optou-se utilizar os padrões definidos pela CETESB pelo fato de haver similaridade nas características da frota das duas capitais, que consomem veículos dos mesmos fabricantes, no lugar de utilizar padrões de agências estrangeiras.

A estimativa foi aplicada também à frota da cidade de São Paulo e de Belém, tanto para ter uma base de comparação com a maior metrópole brasileira e com uma metrópole regional, quanto para ter um parâmetro de checagem dos resultados para avaliar sua consistência, embora o menor nível de agregação para estimação das emissões realizado pela CETESB seja a Região Metropolitana de São Paulo, composta por 39 municípios.

Inicialmente, foi feita uma compatibilização entre a categorização por tipos de veículos utilizada pelo DENATRAN com aquela utilizada pela CETESB, esta última escolhida como padrão para esta pesquisa, conforme o que consta no Quadro 2.2, abaixo.

Quadro 2.2 – Compatibilização de Classificação DENATRAN e CETESB

Continua

Classificação DENATRAN	Classificação CETESB Correspondente	Tipos de Veículos e Combustível
Automóvel	Automóveis	Automóveis Gasolina
		Automóveis Etanol
		Automóveis <i>Flex-fuel</i>

Quadro 2.2 – Compatibilização de Classificação DENATRAN e CETESB

Classificação DENATRAN	Classificação CETESB Correspondente	Conclusão
		Tipos de Veículos e Combustível
Caminhão	Caminhões	Caminhões Médios Diesel
Caminhão trator		
Caminhonete/camioneta/ utilitários	Comerciais Leves	Comerciais leves Gasolina
		Comerciais Leves Etanol
		Comerciais Leves <i>flex-fuel</i>
		Comerciais Leves Diesel
Ônibus	Ônibus Urbanos	Ônibus Urbanos Diesel
Micro-ônibus	Micro- Ônibus	Micro- Ônibus Diesel
Ciclomotor	Motocicletas	Motocicletas Gasolina C e <i>flex-fuel</i>
Motocicleta		
Motoneta		
Quadriciclo		

Fonte: Elaboração própria com dados da CETESB (2019) e DENATRAN (2020)

Nota: Devido à ausência do detalhamento da frota de Manaus, optou-se por assumir que os dados de caminhões médios seriam admitidos para todos os veículos do tipo caminhões (grandes, médios e pequenos) e o de ônibus urbano, sem separação do outro tipo elencado pela CETESB – ônibus rodoviário, pela impossibilidade de distingui-los nos dados do DENATRAN.

Para estimar a idade média ponderada pela quantidade de veículos, em cada ano, foram utilizadas as informações do relatório intitulado “Frota por UF e ano de fabricação”, disponibilizado pelo DENATRAN. A divisão da quantidade de veículos segundo o combustível utilizado para automóveis e motocicletas -álcool e gasolina – foi estimada a partir dos dados de compra dos referidos combustíveis por Estado, disponíveis no sítio da Agência Nacional de Petróleo (ANP, 2020), conforme Tabela 2.3.

Tabela 2.3 – Participação (%) do Volume de Combustível, por Tipo, no Total de Combustível Comercializado para Amazonas, Pará e São Paulo – 2007 a 2018**Continua**

UF	Combustível	2014	2015	2016	2017	2018
AM	Álcool Hidratado	2,28	4,03	2,24	2,20	4,90
	Gasolina	28,35	31,65	37,01	36,50	33,27
	Óleo Combustível	10,86	6,08	2,13	1,92	1,72
	Óleo Diesel	58,51	58,24	58,62	59,38	60,11

Tabela 2.3 – Participação (%) do Volume de Combustível, por Tipo, no Total de Combustível Comercializado para Amazonas, Pará e São Paulo – 2007

UF	Combustível	Conclusão				
		2014	2015	2016	2017	2018
PA	Álcool Hidratado	2,97	4,35	3,36	2,94	6,66
	Gasolina	58,31	57,42	59,50	63,80	62,28
	Óleo Combustível	1,79	0,99	1,64	1,25	1,42
	Óleo Diesel	36,94	37,24	35,50	32,01	29,64
SP	Álcool Hidratado	26,15	32,61	28,53	25,96	35,15
	Gasolina	46,16	40,48	43,77	45,84	36,06
	Óleo Combustível	0,29	0,50	0,22	0,16	0,16
	Óleo Diesel	27,40	26,41	27,48	28,04	28,63

Fonte: Elaboração própria com dados da ANP (2020)

Para caminhões, ônibus e micro-ônibus, admitiu-se que todos os veículos desse tipo utilizam diesel como combustível. Já para os veículos comerciais leves, atribuiu-se a essa categoria o percentual de 83,7% de utilização do combustível diesel, conforme indicado por pesquisa realizada no ano de 2017 nas concessionárias que comercializam picapes médias (CARVALHO, 2016).

A intensidade de uso foi aplicada de acordo com os padrões fornecidos pela CETESB (2019), a qual lista a distância anual percorrida em quilômetros pelos veículos, e que na equação corresponde à intensidade de uso. Essa distância anual percorrida varia de acordo com a idade, o tipo e o combustível utilizado, e estão relacionados no Anexo II. Com base nessas informações, foi relacionado o fator de emissão correspondente, também proveniente da publicação elaborada pela CETESB (2019), os quais estão listados no Apêndice B, correlacionados à idade média da frota e ao tipo de veículo.

2.1.2.3 Dados da Estimativa de Emissões do Refino de Petróleo

A quantidade de petróleo refinada mensalmente na refinaria de Manaus foi fornecida pela Agência Nacional do Petróleo – ANP, a partir do serviço de dados abertos disponível no sítio eletrônico da agência reguladora. No entanto, diferentemente da frota de veículos e da geração da energia termelétrica, não foi feita a estimativa de emissões do material particulado para o refino de petróleo, uma vez que esse dado já é calculado pela única refinaria de Manaus – Refinaria Isaac Sabá – REMAN, e esteve disponível no sítio do Ministério do Meio Ambiente, na ferramenta chamada “Painel de Dados Ambientais” (BRASIL, 2020).

Ressalva-se que o último relatório disponível no sítio do Ministério do Meio Ambiente, no ano de 2020, continha informações até o ano de 2018. Em virtude da descontinuidade da ferramenta com os dados utilizados nesta pesquisa, e para compatibilizar o resultado com as demais atividades, para as quais foram feitas as estimativas até o ano de 2019, foi feita a imputação da emissão de material particulado neste último ano com base no cálculo do coeficiente produção/emissão da Refinaria de Manaus, conforme os dados de produção da Agência Nacional de Petróleo, e a quantidade de emissão de 2018, descontinuado pela Pasta Ambiental no formato anterior.

2.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.2.1 Frota de Veículos

Veículos automotores constituem-se em uma crescente preocupação no que diz respeito à emissão de poluentes atmosféricos e o efeito dessas emissões sobre a saúde respiratória e cardiovascular das pessoas. Slovic, Diniz e Ribeiro (2017) classificam as emissões provenientes de veículos como um desafio, já que são uma das principais fontes primárias de poluição do ar em áreas urbanas, e as frotas aumentam rapidamente enquanto as restrições de emissões são escassas.

Braga *et al* (2001) observam que o rápido crescimento urbano nos países em desenvolvimento fez com que as fontes móveis ou veiculares se tornassem um problema relevante. Esse problema é agravado pela quantidade e o estado de conservação desses veículos, muitas vezes inadequada e sem o controle necessário quanto à qualidade do combustível, dos motores e mecanismos de filtragem dos gases por eles emitidos.

Juntamente ao crescimento econômico e populacional, Manaus também teve sua frota de veículos aumentada de maneira exponencial. No ano de 2007, a frota da cidade era de 333.082 veículos, ao passo que, em 2018, esse número já alcançava os 718.205 (IBGE, 2019). A figura 2.2, a seguir, revela a relação de habitantes por veículo nas cidades de Belém, Manaus e São Paulo.

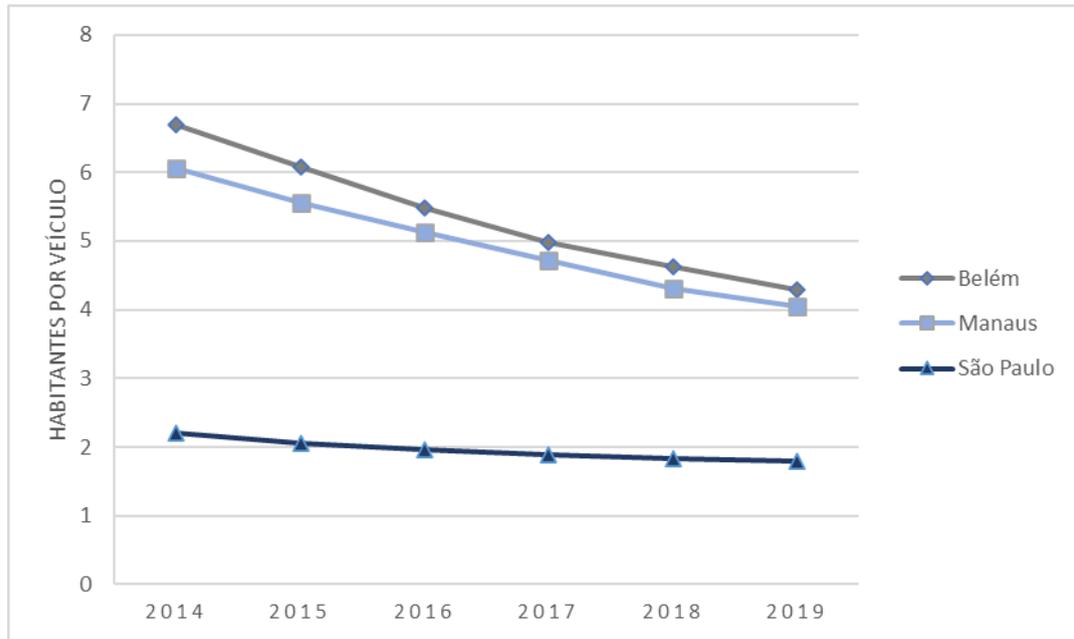


Figura 2.2 – Evolução da Relação Habitantes por Veículo nas Cidades de Manaus, Belém e São Paulo dos Anos 2014 a 2019

Fonte: Elaboração própria com dados do DENATRAN (2020) e IBGE (2020)

Observa-se que a redução na relação de habitantes por veículo foi acentuada em Manaus no período avaliado. Havia, em 2014, 6,06 habitantes para cada veículo na capital do Amazonas, relação que foi diminuindo gradualmente até chegar, em 2019, a 4,05 habitantes por veículo, inferior à relação de Belém que naquele ano foi de 4,28, mas superior a de São Paulo, cuja relação foi de 1,8 habitantes por veículo.

De acordo com Gomes (2019) essa proporção observada em Manaus foi inferior à média nacional, que em 2019 foi de 4,7 habitantes por veículo. Nos Estados Unidos a relação é de 1,2 habitante por veículo, na Alemanha é de 1,7 e na Argentina é de 3,2 habitantes por veículo (GOMES, 2019).

A Figura 2.3 ajuda a compreender a redução da relação de habitantes para cada carro nesse período. Nela, está representada a taxa anual de crescimento da frota e da população para as três capitais, tendo como base fixa o ano de 2014. Manaus registrou incremento de 8% em sua população em 2019 em relação ao ano base de 2014, ante 4,18% em Belém e 2,99% em São Paulo. A frota, por outro lado, aumentou 20,9% em Manaus na comparação entre os dois anos, com o crescimento mais expressivo em relação às demais nos últimos três anos, de 5 pontos percentuais em média. Esse acréscimo na frota em comparação aos dois períodos foi de 18,21% em Belém e 16,97% em São Paulo.

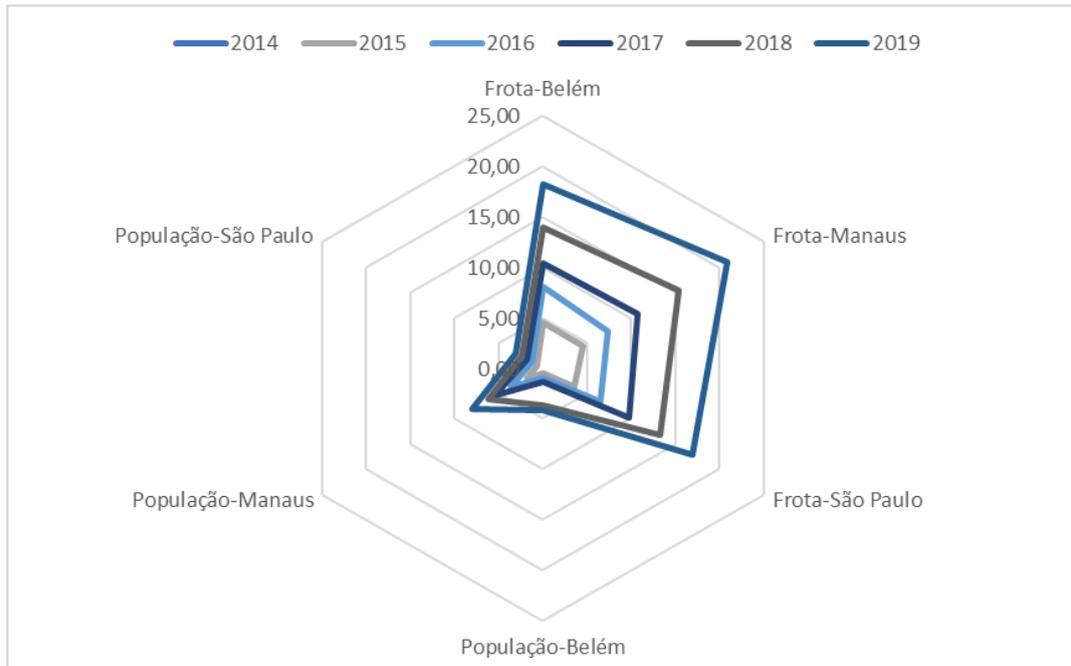


Figura 2.3 – Taxa de Crescimento (%) da Frota e da População das Capitais Manaus, Belém e São Paulo – Base Fixa 2014 – 2014 a 2019

Fonte: Elaboração própria com dados do DENATRAN (2020) e IBGE (2020)

Schor (2008) contextualiza a transição do sistema de transporte de Manaus ao longo dos anos. A cidade, de costas para o rio, trocou a rabeta, um pequeno motor utilizado em barcos regionais, por camionetes 4x4. Esse processo foi motivado pelo crescimento da cidade, pela falta de outras opções de transporte e pelo ideário da modernização (SCHOR, 2006).

O consumo de automóveis aumenta em todas as zonas da cidade, configuradas em diferentes unidades de desenvolvimento humano – UDHS. Schor (2006) observou um incremento da porcentagem de domicílios com automóvel em todas as UDHS, o que indica “uma tendência crescente de incorporação dessa máquina na vida das pessoas” (SCHOR, 2006, p. 67).

De acordo com dados do Banco Central (2020), a concessão de crédito para aquisição de veículos teve tendência de crescimento de 2012 a 2019, tanto para pessoas físicas, quanto jurídicas. O montante aumentou nominalmente em 50% no período referenciado, saltando de R\$ 106 milhões, para pouco mais de R\$ 160 milhões. A aquisição de bens de alto valor agregado, como veículos, está fortemente relacionada à concessão de crédito e às expectativas dos consumidores em relação à economia (MANKIWI, 1999).

Ainda assim, o cenário de crise econômica que se estende desde o final de 2014, acompanhado da limitada capacidade financeira estatal para empreender medidas anticíclicas e, ainda, as expectativas negativas de consumidores relacionadas à manutenção do emprego e

da renda, podem ter interferido na renovação da frota de veículos. A figura 2.4 demonstra a idade média ponderada da frota.

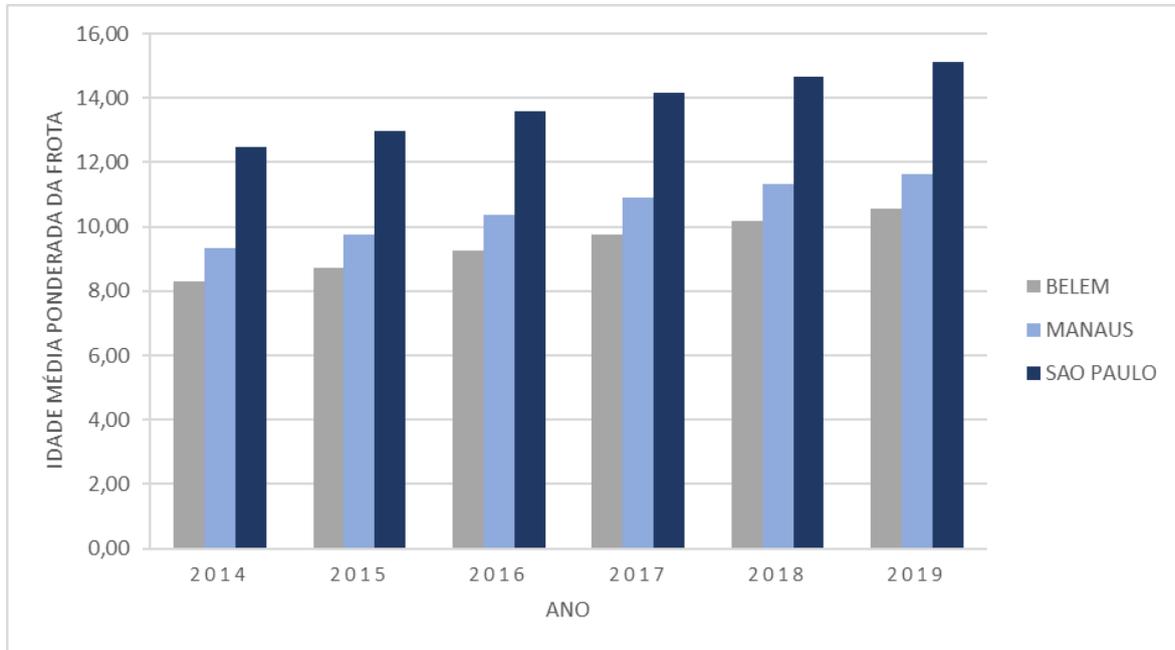


Figura 2.4 – Idade Média Ponderada da Frota de Veículos das Cidades de Belém, Manaus e São Paulo – 2014 a 2019

Fonte: Elaboração própria com dados do DENATRAN (2020)

É possível observar que a idade média ponderada da frota de veículos de Manaus cresce ao longo dos últimos anos, passando de 9,32 anos em 2014 para 11,63 anos em 2019. Trata-se de uma frota mais velha que a de Belém, que tinha 8,32 anos, em média, no ano de 2014 para 10,56 anos em 2019. Entretanto, é uma frota mais nova do que a de São Paulo, que passou de 12,47 anos, em média, para 15,12 anos em média, no último ano do período avaliado.

Interessante destacar que no Estado do Amazonas, a capital possui uma frota com idade média ponderada mais elevada que a dos demais municípios, conforme se pode avaliar na figura 2.5, a qual revela que as médias de 9,32 anos, em 2014; 9,75 anos, em 2015; 10,36 anos, em 2016; 10,89, em 2017; 11,31, em 2018; e 11,63, em 2019 estão mais próximas ao último quartil em todos os anos, o que sugere que a frota de Manaus envelhece mais rápido que a dos municípios do interior, embora estas sejam substancialmente menores.

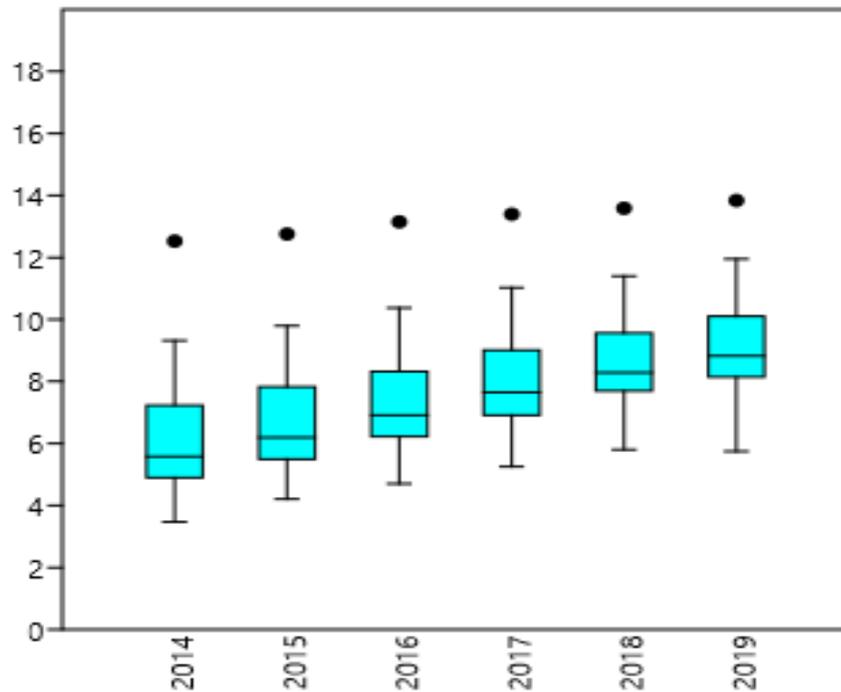


Figura 2.5 – Idade Média Ponderada da Frota de Veículos das Cidades do Estado do Amazonas – 2014 a 2019

Fonte: Elaboração própria com dados do DENATRAN (2020)

A Tabela 2.4 demonstra o perfil e o quantitativo da frota de veículos de Belém, Manaus e São Paulo, no ano de 2019. Nela, é possível notar a preponderância de automóveis, que em São Paulo chega a compor 68,5% da frota, seguida por Manaus, cuja representatividade foi de 51,8% e Belém, com 50,8%.

No que concerne ao transporte coletivo, tendo como base a relação habitantes por automóvel de que trata a Figura 2.2, essa proporção é mais favorável em São Paulo, onde há 258 habitantes para cada ônibus, seguida proximamente de Manaus, com 269 habitantes para cada ônibus, e Belém, que tem 386 habitantes para cada ônibus. Essa medida é apenas situacional, já que São Paulo disponibiliza outro modal relevante de transporte público de massa, o metrô, ausente nas outras capitais sob análise. As motocicletas possuem elevada participação nas capitais da Região Norte – 27,1% em Belém e 24,2% em Manaus, contra 11,8% em São Paulo.

Tabela 2.4 – Perfil e Quantitativo da Frota de Veículos de Belém, Manaus e São Paulo – 2019

TIPO DE VEÍCULO	Continua		
	BELÉM	MANAUS	SÃO PAULO
Automóvel	238.482	390.495	5.868.736
Caminhão	8.908	16.721	135.850

Tabela 2.4 – Perfil e Quantitativo da Frota de Veículos de Belém, Manaus e São Paulo – 2019

TIPO DE VEÍCULO	Conclusão		
	BELÉM	MANAUS	SÃO PAULO
Caminhão Trator	1.119	3.177	29.530
Caminhonete	29.650	80.352	518.441
Camioneta	18.828	25.645	483.619
Ciclomotor	1.285	1.907	4.179
Micro-Ônibus	2.137	3.046	39.869
Motocicleta	127.200	182.443	1.011.478
Motoneta	20.760	19.026	176.305
Ônibus	3.867	8.108	47.508
Utilitário	6.187	5.407	150.735
Outros	10.589	16.817	100.036
Total	469.012	753.144	8.566.286

Fonte: Elaboração própria com dados do DENATRAN (2020)

A Figura 2.6 apresenta os resultados do inventário de emissões de material particulado, em toneladas, dos anos de 2014 a 2016 da frota de Manaus, comparando-os às emissões das frotas de Belém e de São Paulo.

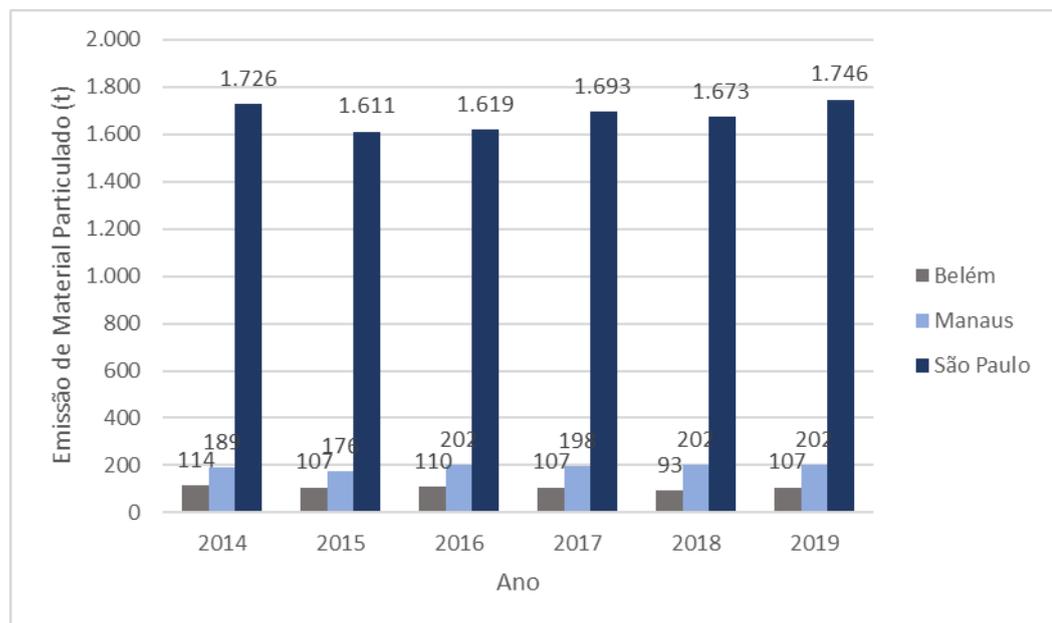


Figura 2.6 – Emissões de Material Particulado, em Toneladas, da Frota de Veículos de Manaus, Belém e São Paulo – 2014 a 2019

Fonte: Elaboração própria com dados da CETESB (2020), ANP (2020), DENATRAN (2020)

É possível observar que a emissão de material particulado pela frota de veículos pode ser considerada sem grande elevação em Manaus no período de 2014 a 2019, já que o montante foi acrescido em 6,7% nesse período, passando de 189 toneladas no primeiro ano, para 202 toneladas no ano final. Esse incremento pode ser considerado positivo, levando-se em

consideração que a frota aumentou 21% durante o intervalo avaliado. Convém destacar que, embora a frota de São Paulo tenha sido 11,5 vezes maior que a de Manaus em 2019, a capital do Sudeste emitiu apenas 8,6 vezes mais do mencionado poluente naquele ano.

Essa relação desfavorável para Manaus pode ser atribuída a três fatores: ao grau de utilização do etanol como combustível, ao perfil, e à idade da frota. O etanol é mais utilizado em São Paulo em virtude da relação mais vantajosa de preços etanol/gasolina, de acordo com a CETESB (2019), o que não acontece em Belém e em Manaus. Segundo a União Nacional de Bionergia (UDOP, 2020), o biocombustível de cana-de-açúcar praticamente zera a dispersão de material particulado em comparação com a gasolina e o diesel.

Relativamente ao perfil da frota, a Figura 2.7 auxilia a compreender que as emissões são preponderantemente provenientes de veículos movidos em sua maioria a diesel, como comerciais leves, ou exclusivamente a diesel, tais como ônibus, micro-ônibus e caminhões. Quanto à idade, veículos a diesel acima de dez anos possuem fatores de emissão bastante elevados.

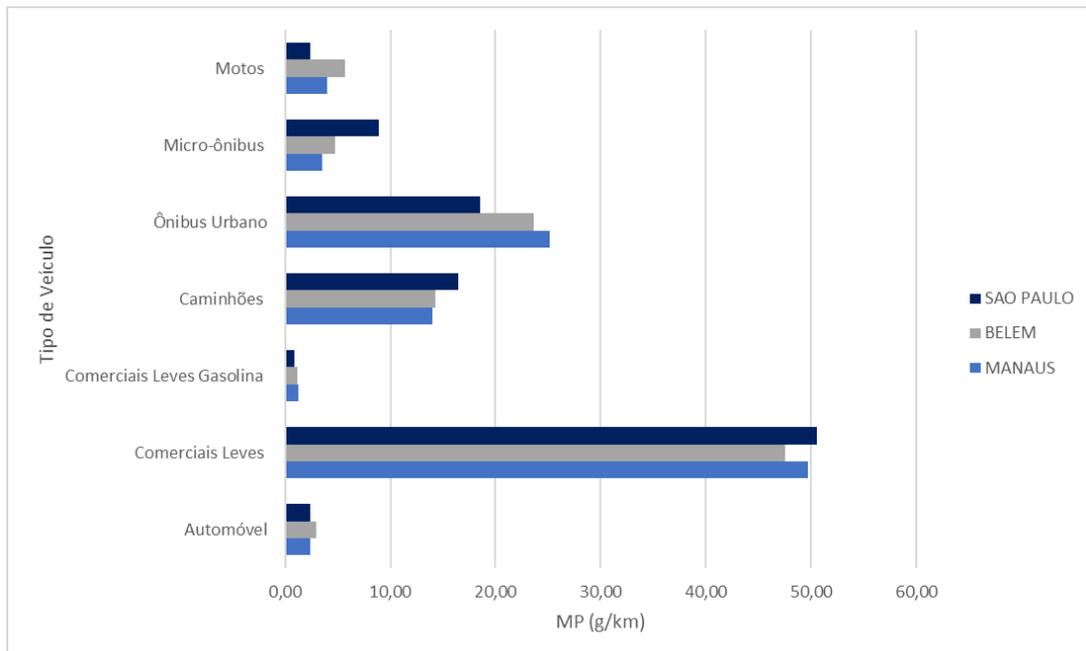


Figura 2.7 – Participação % das Emissões de Material Particulado de Manaus, Belém e São Paulo, de acordo com o Tipo de Veículo – 2019

Fonte: Elaboração própria com dados da CETESB (2020), ANP (2020), DENATRAN (2020)

Sob outra perspectiva, quando o fator de comparação é a quantidade emitida pela frota de veículos para cada habitante, Belém também apresenta o melhor resultado. A figura 2.8 retrata a emissão em gramas *per capita* nas três capitais. Manaus registrou em 2019 a emissão anual de 92,6g para cada habitante, ao passo que em Belém esse resultado foi de 71,8g em

Belém e 142,5g em São Paulo.

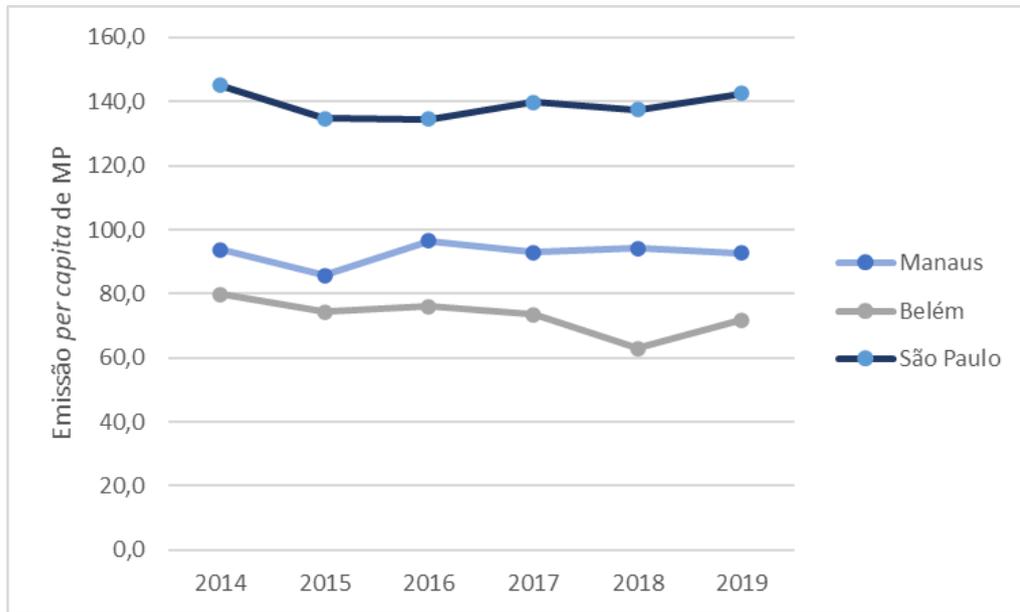


Figura 2.8 – Emissões de Material Particulado *per capita* (g) em Manaus, Belém e São Paulo 2014 – 2019

Fonte: Elaboração própria com dados da CETESB (2020), IBGE(2020), DENATRAN (2020)

Diante dos dados apresentados, pode-se observar que a aceleração da aquisição de veículos em Manaus é expressiva, mas em um índice de relação de habitantes por veículos ainda superior à de São Paulo, e bastante distante do que se observa em países desenvolvidos. Contudo, tanto a população, quanto a frota de veículos, crescem em Manaus a taxas bem superiores comparadas às outras capitais. A idade média ponderada da frota de Manaus é superior à de Belém, e inferior à de São Paulo, o que, juntamente ao uso preponderante de gasolina, contribui para maior emissão de material particulado em termos proporcionais à capital paulista e em termos absolutos em relação à Belém.

2.2.2 Geração Termelétrica

Entidades no Brasil que tratam do tema da poluição atmosférica, como o Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2020) e a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2019) classificam as fontes como fixas ou estacionárias, e móveis. Fontes fixas são aquelas que ocupam uma área relativamente limitada, permitindo uma avaliação direta na fonte.

O Instituto de Energia e Meio Ambiente considera as térmicas fósseis como importantes fontes de emissão de poluentes, os quais afetam a saúde humana, conforme é possível verificar no trecho abaixo.

Os empreendimentos termoelétricos contribuem significativamente para o montante total de emissões na região em que estão operando, principalmente devido ao porte e consequente volume de combustíveis consumidos diariamente. Visto que estas unidades de geração tendem a concentrar-se proximamente aos centros de carga, ou seja, cidades e zonas industriais, as emissões de poluentes atmosféricos podem representar um agravante na qualidade do ar da região e, por conseguinte, causar efeitos na saúde da população do entorno (VISCONDI *et al*, 2016, p. 7).

A queima de combustível fóssil em plantas estacionárias são as principais fontes de emissão de poluentes em muitos países. Um exemplo desse tipo de fonte são as usinas de energia termelétrica de países em desenvolvimento, em cuja operação são emitidos poluentes gasosos e material particulado, efluentes líquidos, efluentes sólidos, rejeitos térmicos e ruído, os quais podem variar em função de diversos fatores, que vão desde o tipo de combustível utilizado, à idade dos equipamentos, até a tecnologia empregada (XAVIER, 2004).

As emissões de poluentes oriundas da geração termelétrica são acarretadas pela queima de combustíveis e podem ocorrer em diferentes momentos do processo, conforme a tecnologia usada, ou ciclo termodinâmico. No entanto, o tipo de combustível utilizado é o principal elemento que determina a natureza e a intensidade dos poluentes. No que concerne às emissões de material particulado, o carvão mineral possui padrão alto de emissão, enquanto óleo diesel e óleo combustível tem padrão médio de emissão, e o gás natural padrão baixo de emissão do referido poluente¹¹ (VISCONDI *et al*, 2016).

As máquinas térmicas utilizadas para geração de eletricidade podem ser agrupadas em máquinas de combustão interna e de combustão externa. Combustão interna é o processo utilizado principalmente nas turbinas a gás e nas máquinas térmicas a pistão, e se efetua sobre uma mistura de ar e combustível, que pode ser óleo diesel, gás natural ou carvão gaseificado. A combustão externa, por outro lado, é o processo usado sobretudo nas centrais termelétricas a vapor, nas quais o combustível – carvão, óleo combustível ou gás natural - aquece em uma caldeira o fluido de trabalho, em geral água, para que o vapor gerado se expanda em uma turbina para produzir trabalho mecânico (XAVIER, 2004).

Segundo Viscondi *et al* (2016), a potência gerada e a energia produzida dependem de fatores e características dos ciclos termodinâmicos, que podem ser categorizados em:

- a) Ciclo Rankine, que opera com vapor produzido em uma caldeira aquecida com a utilização de um combustível, fase em que são realizadas as emissões. Esse vapor é conduzido à turbina, produz a rotação das pás, que é transmitida por um eixo até o gerador elétrico;
- b) Ciclo Brayton, que utiliza turbinas a gás. O gás natural é injetado em uma câmara de combustão junto com o ar que vem de um compressor. Após a queima dessa mistura, os

¹¹ Silva (2018) destaca que, por outro lado, a queima e, principalmente, o vazamento de gás natural emitem grandes quantidades de NO_x e CO.

- gases da combustão são direcionados para uma turbina, acionando o movimento giratório das pás. Após a passagem pela turbina, os gases e partículas são eliminados para a atmosfera;
- c) Ciclo Combinado – união entre o Ciclo Brayton e Rankine. Para a combinação dos ciclos, utiliza-se uma caldeira de recuperação de calor, responsável por aproveitar a energia contida nos gases de exaustão da turbina a gás para gerar o vapor necessário para utilização no Ciclo Rankine;
- d) Motor de combustão – os motores a combustão interna queimam o combustível dentro de um equipamento em um mecanismo constituído por pistão, biela ou virabrequim, no qual o movimento alternativo do pistão dentro do cilindro é transformado em movimento rotativo. Esse movimento é acoplado ao eixo de um gerador de energia elétrica. As emissões acontecem no próprio motor (VISCONDI *et al*, 2016).

A combinação do combustível com o ciclo termodinâmico produz desiguais gradações de eficiência das usinas. As diferentes eficiências na combustão podem levar a maiores ou menores emissões específicas por unidade de energia gerada, conforme representação da Figura 2.9.

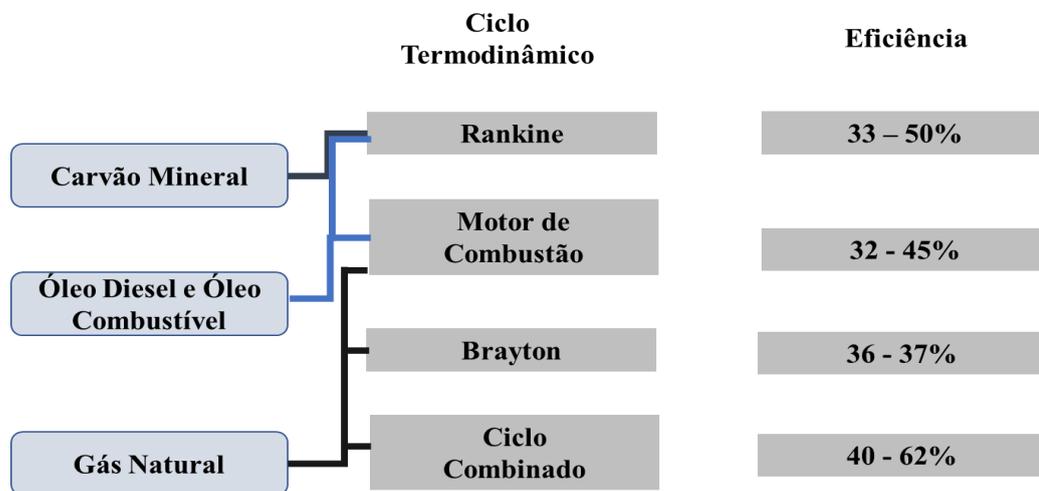


Figura 2.9 – Relação entre os Combustíveis e os Ciclos Termodinâmicos Utilizados na Geração Termoelétrica

Fonte: Viscondi *et al*, 2016

No Brasil, a matriz energética é hidrotérmica, de maneira que as usinas hidrelétricas e termelétricas são responsáveis pela maior parte do suprimento de energia elétrica do país. As termelétricas possuem papel relevante no Sistema Interligado Nacional, tendo em vista sua flexibilidade operacional, que contribui para garantir o fornecimento de energia para o sistema em momentos de instabilidade hídrica (VISCONDI *et al*, 2016).

Tabela 2.5 – Matriz Energética Brasileira, Potência Outorgada (KW), Quantidade e Participação (%)

Tipo	Potência Outorgada (KW)	Quantidade	% Potência Outorgada
Central Geradora Hidrelétrica	841.691,59	746	0,39
Central Geradora Undi-Elétrica	50,00	1	0,00
Central Geradora Eólica	29.494.333,86	1.027	13,71
Pequena Central Hidrelétrica	7.157.605,62	543	3,33
Central Geradora Solar Fotovoltaica	18.421.260,20	4.440	8,56
Usina Hidrelétrica	103.394.328,00	223	48,06
Usina Termelétrica	52.472.882,39	3.172	24,39
Usina Termonuclear	3.340.000,00	3	1,55
Total	215.122.151,66	10.155	100,0

Fonte: ANEEL, 2020

A figura 2.10 demonstra a distribuição espacial das unidades geradoras de energia elétrica no Brasil, segundo o tipo. Observa-se a concentração de usinas termelétricas sobretudo nas regiões Sul e Sudeste. O gás natural é o combustível predominante, com usinas deste tipo distribuídas em todo o território.

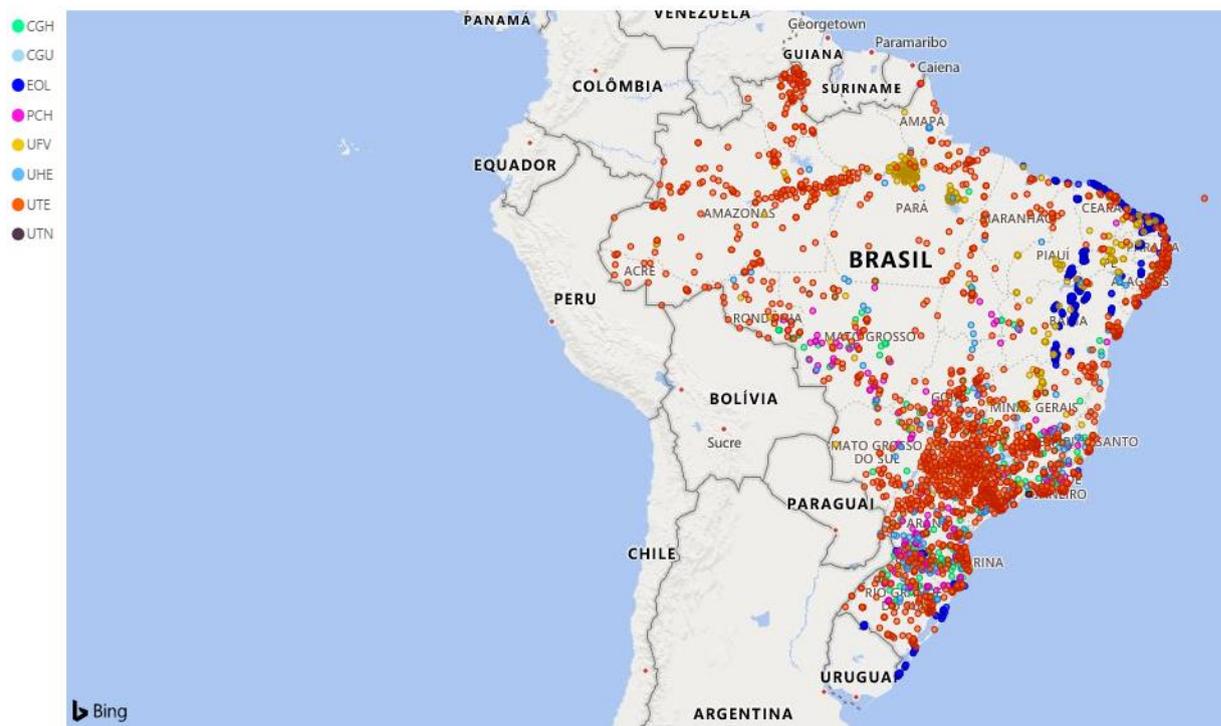


Figura 2.10 – Distribuição Espacial das Usinas de Geração Elétrica no Brasil, por Tipo

Fonte: ANEEL, 2020

Nota:

CGH – Central Geradora Hidrelétrica
 CGU – Central Geradora Undi-Elétrica
 EOL – Central Geradora Eólica

PCH – Pequena Central hidrelétrica
 UFV – Central Geradora Solar Fotovoltaica
 UHE – Usina Hidrelétrica
 UTE – Usina Termelétrica
 UTN – Usina Termonuclear

No Estado do Amazonas, a geração é predominantemente de origem fóssil, embora nos anos mais recentes tenha ganho relevância a geração de energia elétrica a partir do gás natural, na cidade de Manaus (ANEEL, 2020). Medeiros *et al* (2017) explicam que, historicamente, os combustíveis utilizados para a geração de energia na região são o diesel e o óleo combustível. A Tabela 2.6 descreve a matriz energética do Amazonas.

Tabela 2.6 – Matriz Energética do Amazonas, Potência Outorgada (KW), Quantidade e Participação (%)

Tipo	Potência Outorgada (KW)	Quantidade	% Potência Outorgada
Central Geradora Solar Fotovoltaica	176,04	14	0,01
Usina Hidrelétrica	274.710,00	2	10,55
Usina Termelétrica	2.328.502,40	243	89,44
Total	2.603.388,44	259	100,00

Fonte: ANEEL, 2020

Manaus, a maior cidade da Bacia Amazônica Central, tem mudado sua matriz energética a partir da crescente utilização do gás natural ao longo dos últimos dez anos, além de contar com uma pequena participação de energia hidrelétrica. Ainda assim, cerca de 65% da energia gerada na capital do Amazonas é proveniente da queima de combustíveis fósseis (MEDEIROS *ET AL*, 2017).

Da potência outorgada ao Estado, de 2.603.388 Kw, a capital detém 1.245.008,54 Kw, ou seja, 47,8% do total. São 21 empreendimentos, dos quais 2 usinas geradoras solar fotovoltaicas com potência outorgada de 14,04 Kw, e 19 termelétricas com potência outorgada de 1.244.994,80 Kw. Nascimento (2017) registra a evolução histórica da matriz energética da cidade de Manaus, desde sua implantação na segunda metade do Século XX, ao atendimento da crescente demanda do Polo Industrial de Manaus por energia elétrica, até sua adesão ao Sistema Interligado Nacional. O quadro 2.1 descreve essa evolução.

Quadro 2.1 – Sistema Modal dos Combustíveis e Energia da Matriz Energética da Cidade de Manaus

Ano	Energético	Origem	Modal	Potência Instalada	Finalidade
1856	Iluminação a gás hidrogênio	Serviços vendidos por empresa não declarada	A própria empresa importava a matéria prima e produzia o gás	25 lampiões	Iluminar os principais pontos da cidade
1870	Iluminação a Querosene	Serviço vendido pela Empresa Thury & Irmão	Importação efetuada pela empresa prestadora do Serviço	90 candeeiros de 5 velas montados em postes de madeira de 5 palmos de altura	Iluminar as ruas mais habitadas e frequentadas da cidade
1879	Iluminação a gás Globo (óleo de nafta)	Serviço vendido por Manoel Joaquim Pereira de Sá	O próprio empresário Importava a M. P. e produzia o gás	122 lampiões	Iluminar as ruas mais habitadas e frequentadas
1889	Termelétrica à lenha para bombeamento de água potável	Represa da Cachoeira Grande	Tubulações para transporte até as caixas d'água e torneiras públicas	64 cavalos a vapor e conjunto de bombas elétricas	Abastecimento de água para a cidade de Manaus
1896	Termeletricidade à Lenha	O governo do Estado assumiu o comando da produção da energia e da iluminação e fiscalização do sistema	Linha de transmissão aérea em postes de madeira	327 lâmpadas de Arco voltaico de 2000 velas	Toda a zona urbana da sede municipal
1896	Vapor	Serviço prestado por empresa	-	3 Bondes e 16 km de trilhos	Transporte Urbano
1899	Termelétrica à lenha	Serviço vendido pela <i>Manaos Railway Company</i>	Linha de transmissão aérea em poste de ferro	-	Alimentar linhas de bondes elétricos
1900	Telégrafo	Manaus - Itacoatiara	Linha de transmissão terrestre	-	Comunicação com a sede do governo
1989	Hidroeletricidade	Balbina no município de Presidente Figueiredo-AM	Linha de transmissão aérea de 138 kV	250 MW	Ampliar capacidade de geração instalada
2009	Gás natural (GN)	Urucu no município de Coari - AM	Gasoduto Urucu-Coari-Manaus	5,5 MM3/dia inicialmente	Substituir o consumo de óleo combustível por gás natural
2013	Hidroeletricidade	Tucuruí- PA pelo SIN	Linha de transmissão aérea de 500 KV	Potência destinada oscila por sazonalidade	Interligar Amazonas ao SIN

Fonte: Nascimento, 2017

Registra-se que a criação do Polo Industrial de Manaus sucedeu um longo período de estagnação econômica que vinha desde o debacle do ciclo da borracha, em 1945. Para suprir a carência energética que havia em Manaus, a Usina de Balbina, construída no Lago Uatumã no município de Presidente Figueiredo, foi inaugurada em 1989 com capacidade instalada de 250 MW de energia, mas problemas operacionais limitam sua produção a menos da metade dessa capacidade (NASCIMENTO, 2017). Inobstante essa subutilização da capacidade instalada, a geração de Balbina está sendo completamente injetada no Sistema Interligado Nacional, para onde está sendo creditada sua produção anual (ELETROBRÁS, 2020).

Destaca-se ainda dessa sucessão de acontecimentos a construção do Gasoduto Coari-Manaus, entregue em 2009. A exploração da reserva permitiu a substituição em grande parte da utilização do óleo diesel e do óleo combustível utilizados nas usinas de Manaus, cujas máquinas foram adaptadas ou tiveram novas máquinas adquiridas para o aumento do parque energético. A vantagem do gás natural é que, embora tenha também origem fóssil, é um combustível mais limpo e mais barato (NASCIMENTO, 2017).

No ano de 2013, outro marco relevante do suprimento energético de Manaus foi a interligação da cidade ao Sistema Nacional, quando a capital deixou de ser energeticamente isolada. Em 2019, 53,35% do total de 10.994 GWh do suprimento de energia elétrica de Manaus foi proveniente do Sistema Interligado Nacional, conforme se pode observar na Tabela 2.7, a seguir.

Tabela 2.7 – Fonte de Suprimento Energético de Manaus, por Origem (GWh) e Participação no Total (%) 2018-2019

Fonte de Suprimento	2019		2018		Variação (%)
	GWh	%	GWh	%	
Termelétrica a Óleo	1.737,863	15,81	2.579,664	24,25	-32,63
Termelétrica a Gás	3.391,247	30,84	3.500,154	32,90	-3,11
SIN	5.865,582	53,35	4.558,408	42,85	28,68
Total	10.994,692	100,00	10.638,226	100,00	3,35

Fonte: Eletrobrás (2020)

A Tabela 2.8 revela o perfil, a quantidade de consumidores e o total consumido de energia elétrica em Manaus nos anos de 2018 e 2019. Observa-se que dos 595.915 consumidores, 91% pertenciam à classe residencial, seguido de consumidores da classe comercial, com 8,4% de representatividade. A indústria representou 0,3% do número de consumidores, mas com 15,8% do total de energia consumida. De acordo com a Eletrobrás (2020), o decréscimo do consumo de energia em 2019 em relação ao ano anterior pode ser

creditado à adesão dos empreendimentos ao consumo livre¹² e à desaceleração econômica. O fato de os consumidores livres estarem enquadrados na categoria “outros”, explica parte do crescimento de 2,21% dessa categoria no ano de 2019, em comparação ao ano anterior.

Tabela 2.8 – Número de Consumidores e Consumo, por Classe de Consumo em Manaus (GWh), Participação no Total (%) e Variação (%) – 2018-2019

Classes de Consumo	Nº de Consumidores			Consumo GWh		
	2019	2018	Variação (%)	2019	2018	Variação (%)
Residencial	540.906	532.666	1,55	1.410,514	1.403,329	0,51
Industrial	1.569	1.578	-0,57	513,915	526,258	-2,35
Comercial	49.882	48.357	3,15	868,061	865,460	0,30
Outras *	3.558	3.650	-2,52	548,913	537,068	2,21
Total	595.915	586.251	1,65	3.341,403	3.332,115	0,28

Fonte: Eletrobrás, 2020

*Inclui consumidores do Consumo Livre

Repisa-se que a introdução do gás natural na matriz energética de Manaus e a conexão ao Sistema Interligado Nacional possibilitaram que, em grande medida, houvesse a substituição de combustíveis mais poluentes, como o óleo diesel e o óleo combustível, por outro mais limpo, o gás natural. A Figura 2.11 mostra a linha do tempo dessa evolução.

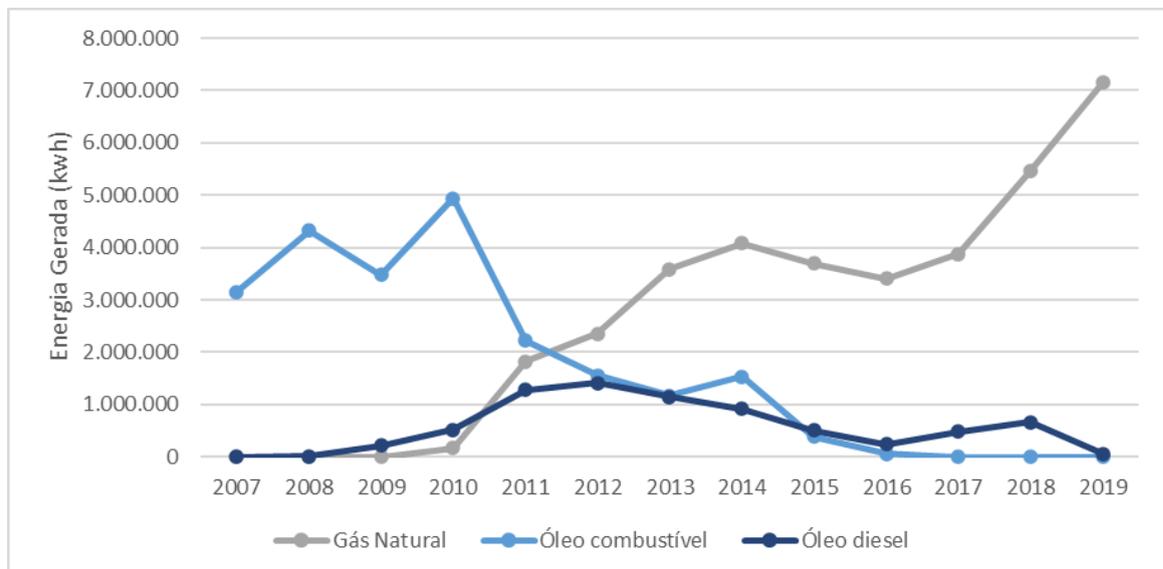


Figura 2.11 – Quantidade Gerada de Energia Termelétrica em Manaus, em KWh, por Tipo de Combustível – 2007-2019

Fonte: Eletrobrás, 2020

¹² Consumo Livre, mercado livre ou ambiente livre de contratação é uma modalidade de contratação de energia elétrica, no qual o consumidor pode comprar energia de fontes alternativas à concessionária local, ou seja, diferente do mercado tradicional, também chamado de mercado de contratação regulada, ou mercado cativo (Informação Disponível em: <https://www.mercadolivredeenergia.com.br/>, acessado em 9/2/2021).

A Figura 2.12 reúne o resultado do volume de emissão anual de material particulado na cidade de Manaus no período de 2014 a 2019, a partir das fontes fixas de usinas termelétricas. Evidencia-se a vertiginosa redução de emissões do poluente que houve no ano de 2015, em relação ao ano anterior. Pode-se creditar esse decréscimo tanto à redução da geração no período, quando se deflagrou a crise fiscal no país, com fortes reflexos no Estado do Amazonas, quanto à intensificação da substituição do gás natural na produção energética, em detrimento ao óleo diesel e ao óleo combustível nas usinas de Manaus.

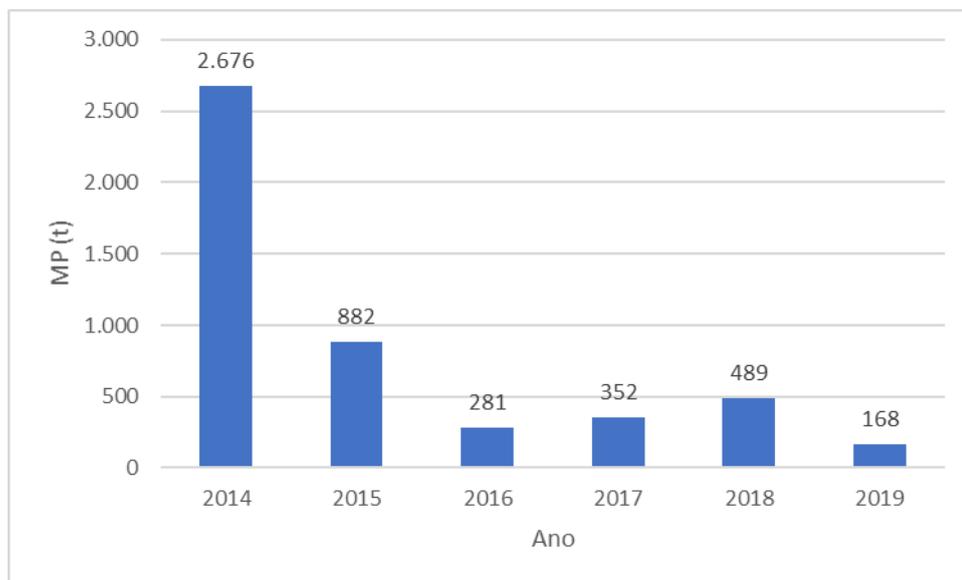


Figura 2.12 – Emissão de Material Particulado pela Geração de Energia Termelétrica em Manaus (T) – 2014-2019

Fonte: Elaboração própria com dados da ELETROBRÁS (2020) e EPA (2000)

A Figura 2.13 ajuda a compreender melhor o efeito da substituição dos combustíveis tradicionalmente utilizados na geração de energia em Manaus. Considerando o ano de 2014 como referência para os demais, foi calculado o índice de base fixa da emissão de material particulado e da geração de energia, de forma a aproximar os resultados que possuem grandezas bastante diferentes. É possível observar que o ano de 2016 marcou uma inflexão na geração de energia na cidade, culminando com uma quantidade de energia gerada no ano de 2019, 10% superior ao ano de 2014, ao passo que o montante de emissões de material particulado no último ano avaliado foi 94% inferior comparado ao início do período.

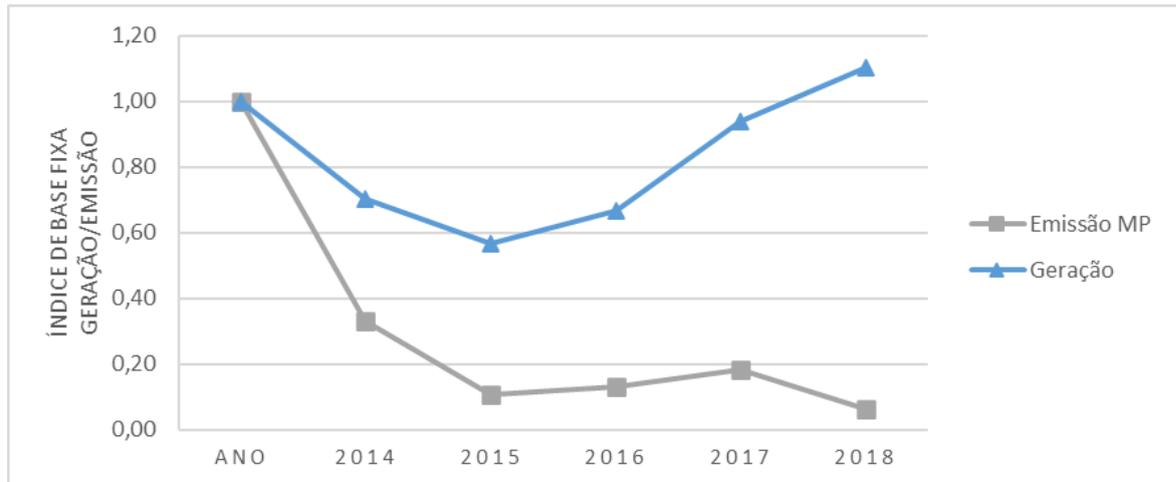


Figura 2.13 – Índice de Base Fixa (2014) da Emissão de Material Particulado e da Geração de Energia Termelétrica em Manaus 2014-2019

Fonte: Elaboração própria com dados da ELETROBRÁS (2020) e EPA (2000)

2.2.3 Refino de Petróleo

A forma segundo a qual a sociedade está organizada faz com que o petróleo ganhe importância fundamental ainda no cenário atual, seja para sua utilização como fonte de energia, seja como base de matéria-prima para manufatura de uma infinidade de bens de consumo e intermediários, a partir de seus derivados. É nesse contexto que a etapa do refino pode ser considerada como cerne da indústria do petróleo, pois sem que haja a separação de seus diversos componentes, o material em si possui pouco valor prático ou comercial (MARIANO, 2001).

Do ponto de vista ambiental, o processo de refino pode ser considerado um foco de preocupação em virtude do potencial de poluição que a atividade possui. Além de consumirem grandes quantidades de água e de energia, produzem significativos volumes de despejos líquidos, liberam diversos gases nocivos para a atmosfera e para a saúde, e produzem resíduos sólidos de difícil tratamento e deposição (MARIANO, 2001).

No Brasil, o parque de refino é majoritariamente controlado pela Petrobrás, o que contribui para que esse mercado seja colaborativo e não competitivo. São dezessete refinarias, das quais treze pertencem à Petrobrás e, as demais, à iniciativa privada. Essas refinarias diferem não apenas em relação a sua complexidade tecnológica, como também em relação às matérias-primas processadas e aos mercados que são por elas atendidos (BARCZA, 2020). A Figura 2.14 ilustra a distribuição espacial pelo país das refinarias de petróleo, bem como a dimensão da capacidade de refino diário de barris de petróleo por dia de cada uma delas.

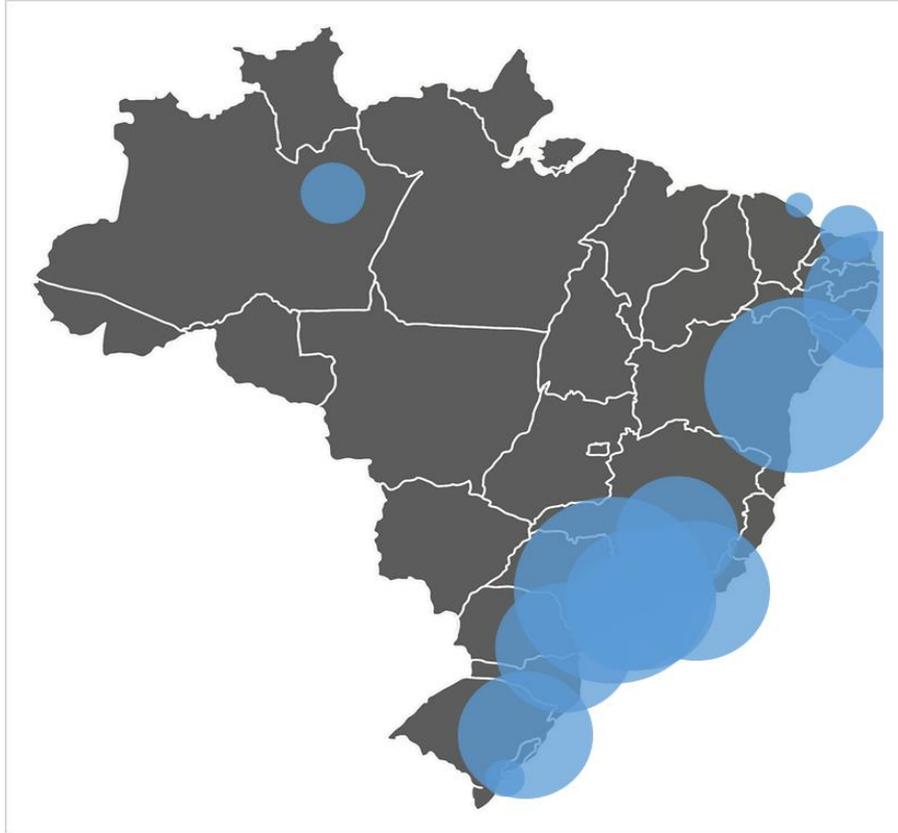


Figura 2.14 – Localização das Refinarias Brasileiras e Dimensão da Capacidade de Produção de Barris de Petróleo por Dia

Fonte: Elaboração própria com dados da PETROBRÁS (2021)

Para reduzir custos com deslocamento do produtor ao consumidor, a maior parte das refinarias localizam-se próximas aos principais pontos produtores de petróleo, das cidades mais industrializadas e dos centros mais populosos (BARCZA, 2020). Na Figura 2.14 é possível observar a concentração desses empreendimentos principalmente na Região Sudeste.

A Refinaria de Manaus Isaac Sabbá – REMAN foi inaugurada em 1957 e suas instalações estão localizadas no Distrito Industrial de Manaus, às margens do Rio Negro. Em 1974, a empresa, até então privada, foi incorporada ao sistema Petrobrás. Desde 2000, a capacidade de produção da refinaria é de cerca de 46.000 barris de petróleo por dia e atende os Estados do Pará, Amapá, Rondônia, Amazonas e Roraima (PETROBRAS, 2021).

Os principais produtos fabricados na unidade são: gás liquefeito de petróleo - GLP, nafta petroquímica, gasolina, querosene de aviação, óleo diesel, óleos combustíveis, óleo leve para turbina elétrica, óleo para geração de energia, asfalto. Para isso, a planta conta com uma unidade de destilação direta e uma unidade de craqueamento catalítico (PETROBRÁS, 2021). A Figura 2.15 demonstra o esquema simplificado de produção da Refinaria Isaac Sabbá.

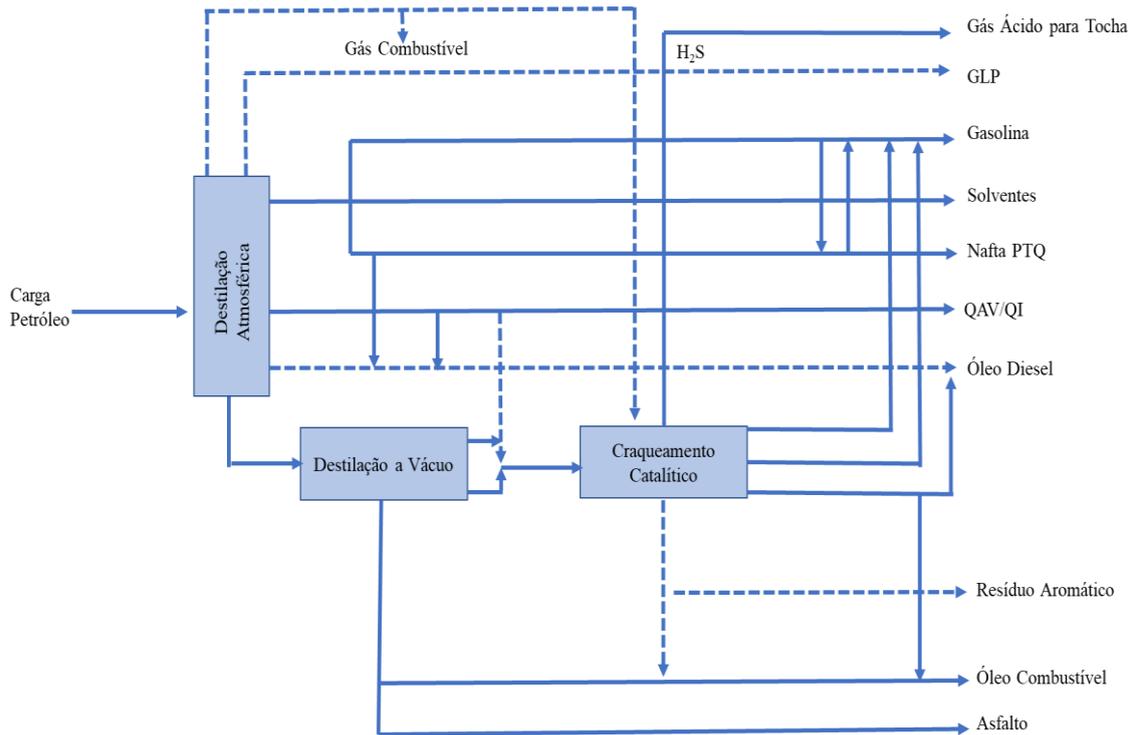


Figura 2.15 – Esquema do Ciclo de Refino REMAN

Fonte: Barcza, 2020

Basicamente, a produção de derivados de petróleo envolve três processos principais: (1) destilação, fase em que há a separação dos derivados a partir do aquecimento do petróleo em altas temperaturas até sua evaporação. Esse vapor volta ao estado líquido conforme resfria em diferentes níveis dentro da torre de destilação. Em cada nível há um recipiente que coleta um diferente subproduto; (2) conversão, processo mediante o qual as partes mais pesadas e de menor valor do petróleo são transformadas em moléculas mais nobres, o que permite melhor aproveitamento do petróleo. O craqueamento catalítico, especificamente, tem por objetivo principal transformar uma nafta de destilação direta, rica em hidrocarbonetos parafínicos, em outra, rica em hidrocarbonetos aromáticos e; (3) tratamentos, que são processos direcionados para adequar a qualidade dos derivados às exigências do mercado (PETROBRÁS, 2021).

A planta da refinaria de Manaus conta com uma unidade de destilação direta e uma unidade de craqueamento catalítico. A produção anual da REMAN não é significativa levando-se em conta o cenário nacional, já que a maior participação no total do refino nacional desde o início da década de 2000 foi de 2,85%, com 1,80% de participação no ano de 2019 (ANP, 2020). Ainda assim, trata-se de um óleo leve com características que o classificam com a melhor qualidade do mercado (PETROBRÁS, 2021). A Figura 2.16 retrata a produção anual de derivados de petróleo na Refinaria de Manaus.

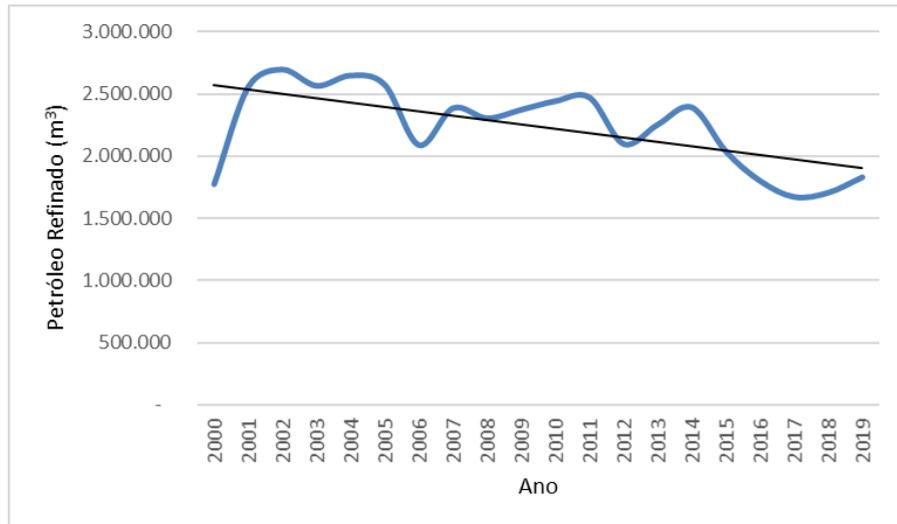


Figura 2.16 – Processamento Anual de Petróleo (m³) na Refinaria de Manaus – 2000-2019

Fonte: Elaboração própria com dados da ANP (2020)

A avaliação da produção de derivados de petróleo retratada na Figura 2.16 permite verificar a tendência de queda na produção no decorrer das últimas décadas, notadamente a partir do ano de 2014, ao final do qual se desencadeou de maneira mais intensa a crise econômica, como anteriormente mencionado. Houve uma aparente reversão da tendência a partir do ano de 2017, mas em patamares de produção ainda inferiores aos registrados no período registrado.

A Figura 2.17 apresenta o resultado da emissão de material particulado anual para o refino de petróleo, em toneladas, no período de 2014 a 2019.

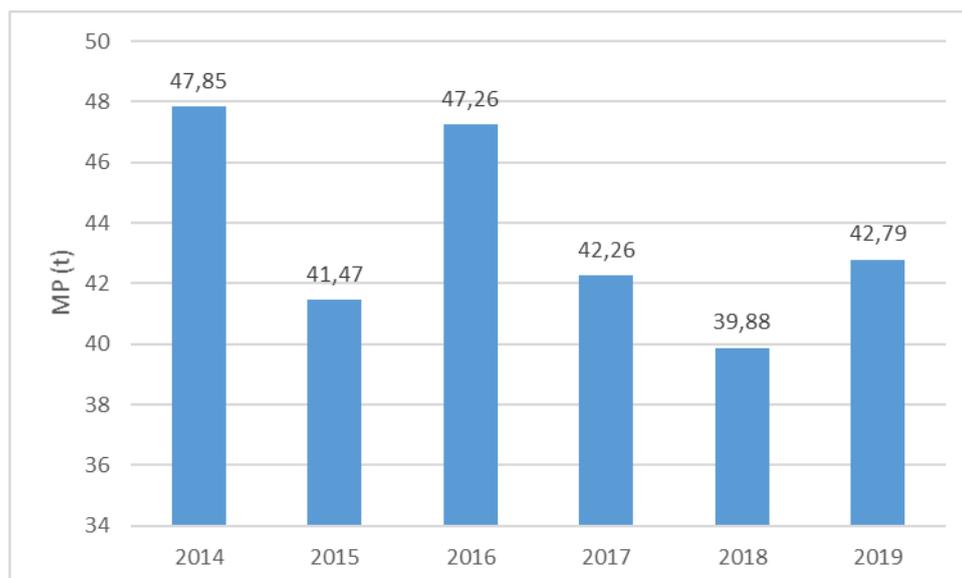


Figura 2.17 – Emissão Anual de Material Particulado (t) Oriundo do Refino de Petróleo em Manaus -2019

Fonte: Elaboração própria com dados do Brasil (2020)

A Refinaria REMAN emitiu, no ano de 2019, 42,79t de material particulado na atmosfera de Manaus. Essa quantidade foi 10,6% inferior ao ano de 2014, quando a emissão registrada foi de 47,85t, o maior resultado do período analisado. Para contextualizar esse resultado, foi feita uma comparação com a emissão de material particulado da Refinaria de Duque de Caxias - REDUC, no Rio de Janeiro. Trata-se, no entanto, de uma comparação apenas ilustrativa, pois o total de emissões de cada refinaria está relacionada aos produtos, à técnica e ao tipo de petróleo utilizado, o que não será aprofundado neste trabalho.

A REDUC é a mais completa e complexa refinaria do sistema Petrobrás. Produz 80% dos lubrificantes em território nacional e é a maior processadora de gás natural do Brasil. Tem como principais produtos o óleo diesel, a gasolina, o querosene de aviação, o asfalto, a nafta petroquímica, gases petroquímicos, parafinas, lubrificantes, GLP, coque e enxofre. Sua capacidade instalada é de 242.158 barris de petróleo por dia (PETROBRÁS, 2021).

A refinaria do Estado do Rio de Janeiro produziu, em média, seis vezes mais derivados de petróleo do que a de Manaus. Em 2019, foram 11,5 milhões de metros cúbicos de petróleo processado, ao passo que sua congênera amazonense processou 1,8 milhão de metros cúbicos. A relação de emissão de material particulado, por outro lado, é menor na Refinaria de Manaus, avaliando-se a quantidade emitida do poluente por cada metro cúbico processado.

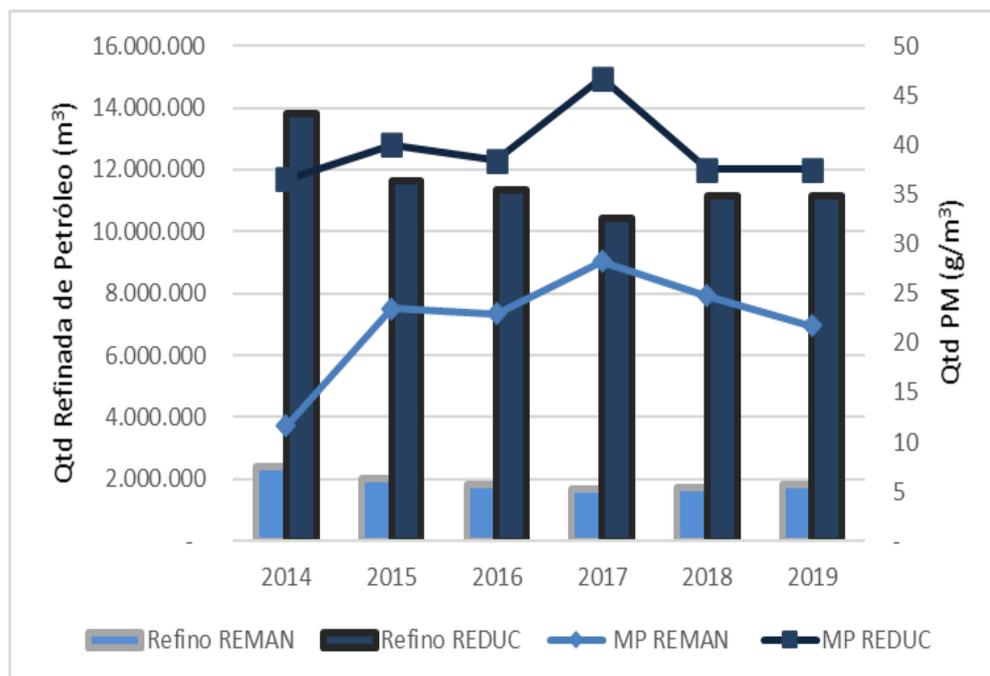


Figura 2.18 – Emissão Anual de Material Particulado (g) pela Quantidade Anual Refinada de Petróleo (m³) das Refinarias REMAN e REDUC 2014-2019

Fonte: Elaboração própria com dados de Brasil (2020) e ANP (2020)

A Figura 2.18 revela que a relação de emissão de material particulado por unidade processada não acompanha, necessariamente, o volume de petróleo refinado. Além disso, ressaltando-se o perfil produtivo e o estado da arte da planta, não avaliado neste trabalho, o cálculo de gramas de material particulado por cada metro cúbico de petróleo refinado demonstra que a unidade de Manaus parece ser mais eficiente do que aquela localizada no Rio de Janeiro. Na REMAN, foram 22g de material particulado por metro cúbico de petróleo no ano de 2019, enquanto que na REDUC essa relação foi de 38g.

A Figura 2.19 reúne os resultados do inventário de material particulado no período de 2014 até 2019. Verifica-se que o volume apresenta forte tendência de queda no período, resultado fortemente influenciado pela geração de energia termelétrica, associado à transição da matriz energética da capital amazonense, atualmente baseada na utilização do gás natural.

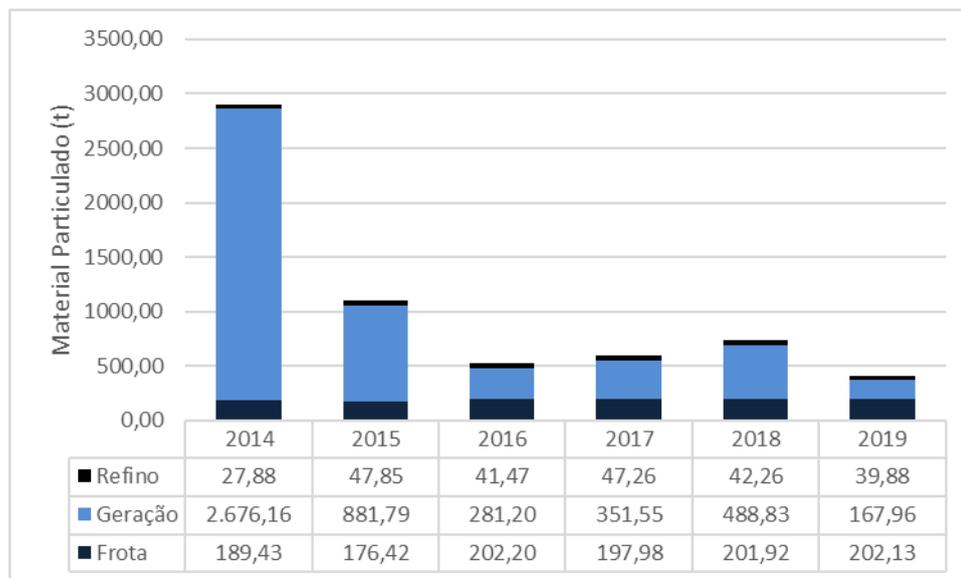


Figura 2.19 – Emissão Anual de Material Particulado em Manaus (t) Proveniente do Refino de Petróleo, da Frota de Veículos e da Geração de Energia 2014-2019

Fonte: Elaboração própria com dados do Brasil (2020); ANP (2020); EPA (2000), CETESB (2019), ELETROBRÁS (2020), DENATRAN (2020)

2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente capítulo caracterizou a evolução da frota de veículos, da geração de energia termelétrica e do refino de petróleo na cidade de Manaus, destacando seus aspectos técnicos e operacionais. Além disso, foram apresentados os resultados do inventário de emissão de material particulado no período de 2014 a 2019.

Pode-se verificar que a geração de energia termelétrica foi a principal responsável pela emissão do poluente até o ano de 2018. Contudo, a partir do ano de 2015 houve um processo de reversão dessa condição, em virtude do início e intensificação do uso do gás natural no processo de geração de energia termelétrica na capital. No ano de 2019, foi a frota de veículos a maior fonte de emissão de material particulado na cidade de Manaus, uma tendência em grandes cidades do Brasil e do mundo. Esse resultado está relacionado com a utilização preponderante de gasolina como combustível, e é influenciado pela idade média ponderada da frota.

É possível inferir que se uma atividade econômica potencialmente poluidora elevar sua produção, mantendo seu padrão de emissões, vai emitir mais poluentes. De outro modo, se uma atividade poluidora exhibe ganhos tecnológicos que permitam um melhor padrão de emissões, mas o incremento e o ritmo de sua produção aumenta mais do que proporcionalmente em relação a esse ganho de eficiência, ela vai poluir mais.

Essa é uma condição pela qual pode estar afetando o nível de poluentes emitidos pela frota de veículos e seu ganho relativo na participação de emissão de material particulado entre as demais atividades aqui analisadas. Mesmo a despeito dos ganhos tecnológicos dos veículos mais novos, cujos fatores de emissão apresentam resultados mais positivos na medida em que a frota incorpora um novo padrão tecnológico que implica menor índice de emissões, a quantidade de veículos em circulação cresce a ponto de anular esses ganhos.

Com o intuito de aprimorar as estimativas de emissão de poluentes advindos da frota de veículos, sugere-se que o DENATRAN divulgue dados mais detalhados que permitam associar as variáveis como idade do veículo e combustível utilizado. A divulgação das informações obtidas das vistorias ambientais realizadas por empresas licenciadas pelo DETRAN – AM também enriqueceriam os dados de análise, inclusive ao ponto de se estimar fatores de emissão locais, por tipo de veículo.

Ademais, é recomendável que futuros estudos nessa linha considerem realizar o inventário de emissões de material particulado de queimadas e da frota de embarcações. A primeira porque, embora não sejam tão recorrentes as queimadas na área urbana de Manaus, a cidade sofre forte influência da pluma constituída por poluentes oriundos de queimadas no Estado. A segunda, porque o transporte fluvial na capital do Amazonas é intenso e tratam-se de embarcações movidas predominantemente a diesel.

REFERÊNCIAS

ANEEL. **Geração de Energia**. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/dados/geração>>. Acesso em 2/12/2019.

ANP. **Volume de petróleo refinado nas refinarias nacionais**. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/dados-estatisticos>>. Acesso em: 11/02/2020.

BACEN. **Concessão de crédito com recursos livres**. Disponível em: <<https://www3.bcb.gov.br/sgspub/localizarseries/localizarSeries.do?method=prepararTelaLocalizarSeries>>. Acesso em 06/03/2020.

BARBOSA FILHO, F. A crise econômica de 2014/2017. **Estudos Avançados**. Estud. av. vol.31 no.89 São Paulo Jan./Apr. 2017.

BARCZA, M. **Refino do petróleo**. Disponível em: <http://sistemas.eel.usp.br/docentes/arquivos/1285870/313/Refino%20do%20Petroleo.pdf>. Acessado em 9/2/2020.

BRAGA, A.; *et al.* P. **Poluição Atmosférica e Saúde Humana**. Revista USP, São Paulo, n.51, p. 58-71, setembro/novembro 2001.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Cidades Sustentáveis: Qualidade do ar**. Disponível em: <<https://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar>>. Acesso em: 03/12/2019.

CARVALHO, I. As picapes a diesel mais vendidas no Brasil. **Revista Quatro Rodas**. Publicado em 24 jun 2016, 17h25. Disponível em: <https://quatrorodas.abril.com.br/noticias/as-picapes-a-diesel-mais-vendidas-no-brasil>. Acessado em 20/10/2020.

CETESB. **Qualidade do ar no Estado de São Paulo**. São Paulo: CETESB, 2019.

COELHO, S. **Avaliação das emissões atmosféricas das principais termelétricas brasileiras a gás natural – ano base 2013**. Trabalho de Conclusão. Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, 2014.

DENATRAN. **Frota de Veículos**. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/conteudo-denatran/estatisticas-denatran>. Acessado em 5/4/2021.

DICIONÁRIO Oxford **Advanced Learner's Dictionary**. Oxford University. Press. Oxford. 1990.

ELETROBRÁS. **Relatório da Administração 2019**. Disponível em: <https://website.amazonasenergia.com/wp-content/uploads/2021/01/Relat%C3%B3rio-de-Administra%C3%A7%C3%A3o-2019.pdf>. Acesso em 8/1/2021.

_____. Geração termelétrica mensal por tipo de combustível. **Relatório**. Manaus, 2020.

EPA. U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **AP-42, Compilation of Air Pollutant Emission Factors**. Volume I. Fifth Edition. Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, North Carolina, April, 2000.

EPA. U. S. Environmental Protection Agency, **Emission Inventory Improvement Program**, Volume II Introduction to Stationary Point Source Emission Inventory Development, May 2001.

EPE. **Fatores de conversão**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes>. Acesso em 20/11/2020. Acessado em 10/2/2021.

FISH, G.; MARENGO, J.; NOBRE, C. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. **Revista Acta Amazônica**, 28 (2), 101-126, 1998.

GARCIA, E. **Modelo de desenvolvimento: Zona Franca de Manaus: história, conquistas e desafios**. 2. ed. Manaus: Norma Ed, 2004.

GOMES, L. País mantém 4,7 habitantes por veículo há três anos. **Jornal de Brasília**, Brasília, 20/4/2019.

HOLLAND, M. *et al.* **Zona Franca de Manaus: impactos, efetividade e oportunidades**. São Paulo: FGV, 2019.

IBGE. **Cidades e Estados**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados.html?view=município>. Acesso em: 04/12/2019.

_____. **Produto Interno Bruto dos Municípios**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9088-produto-interno-bruto-dos-municipios.html?=&t=resultados>. Acesso em: 11/02/2020.

LAKATOS, E.; MARCONI, M. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MANKIW, N. **Introdução à economia: princípios de micro e macroeconomia**. Tradução Maria José Cyhlar Monteiro. Rio de Janeiro: Campus, 1999.

MARIANO, J. **Impactos ambientais do refino de petróleo**. Programa de Pós-Graduação de Planejamento Estratégico. Dissertação de Mestrado. UFRJ: Rio de Janeiro, 2001.

MARTINS, L *et al.* Relação entre poluição atmosférica e atendimentos por infecção de vias aéreas superiores no município de São Paulo: avaliação do rodízio de veículos. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, vol 4, n.3. São Paulo, 2001.

MENDES, J.; SILVA, L. Determinação do índice de qualidade do ar numa cidade de média dimensão. in: 2º Congresso Luso Brasileiro para o Planejamento Urbano Regional Integrado e Sustentável. **Anais...**Braga: Pluris, 2006.

NASCIMENTO, M. **Levantamento histórico da matriz energética de Manaus**. Dissertação Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Produção. Manaus: UFAM, 2017.

ONS. **Avaliação da operação**. Disponível em: <https://sintegre.ons.org.br/>. Acessado em 6/2/2021.

PETROBRÁS. **Refinarias**. Disponível em: <https://petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/principais-operacoes/refinarias/>. Acessado em 10/02/2021.

PHILIPPI JR; BRUNA, C. **Política e gestão ambiental**. Curso de gestão ambiental. In: PHILIPPI JR, A. ; ROMÉRO, M. A. de ; BRUNA, G. C. (Org.). São Paulo: Manole, 2004. cap. 18, p. 657-714.

RIBEIRO, H. Air pollution and respiratory diseases in children in São Paulo, Brazil. **Social Science & Medicine**. Vol. 29, n. 8, pp. 959-964, 1989.

RIVAS, A. *et al.* **Instrumentos econômicos para a proteção da Amazônia**: a experiência do Polo Industrial de Manaus. Alexandre Almir Ferreira Rivas, José Aroudo Mota, José Alberto Costa Machado (orgs). 1 ed. Curitiba: Editora CRV, 2009.

SALDIVA, P. **Vida urbana e saúde**: o desafio dos habitantes das metrópoles. São Paulo: Contexto, 2018.

SCHOR, T. Abram alas que eu quero passar: o desfile do automóvel na cidade de Manaus. **Revista de Estudos Amazônicos**. ano 7, n. 1, jan/jun, 2007.

SCHOR, T. Da rabeta ao 4x4: a expansão da modernidade (e seu colapso) na fronteira norte do Brasil. **Revista Ciência e Ambiente**, n. 37, 2008.

SILVA, A. **Efeitos das mudanças de combustíveis das usinas termelétricas de Manaus na qualidade do ar**. Tese (Doutorado). INPA/UEA, Manaus, 2018.

SLOVIC, A.; DINIZ, C.; RIBEIRO, H. Clean air matters: an overview of traffic-related air pollution and pregnancy. **Revista de Saúde Pública**, vol.51, São Paulo, 2017, Epub Feb 16, 2017

SUFRAMA. **Indicadores do Polo Industrial de Manaus**. Disponível em: <http://site.suframa.gov.br/assuntos/modelo-zona-franca-de-manaus/polo-industrial>>. Acesso em: 11/02/2020.

UDOP. **Uso do etanol evitou a emissão de 515 milhões de toneladas de CO₂eq em 17 anos**. Disponível em: <https://www.udop.com.br/noticia/2020/06/05/uso-do-etanol-evitou-a-emissao-de-515-milhoes-de-toneladas-de-co2eq-em-17-anos.html>. Acessado em 5/2/2021.

VISCONDI, G. *et al.* **Geração termoelétrica e emissões atmosféricas**: poluentes e sistemas de controle. São Paulo: IEMA, 2016.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Air Quality Guidelines**: global update 2005: particulate matter, ozone, nitrogen dioxide, and sulfur dioxide. Copenhagen, 2005.

_____. **Preventing disease through healthy environments**. Geneva, Switzerland: WHO; 2006. **Calidad del aire y salud**. Disponível em: [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health). Publicação de 2018. Acesso

em 20/02/2020.

XAVIER, E. E. **Termeletricidade no Brasil** – Proposta Metodológica para Inventário das Emissões Aéreas e sua Aplicação para o Caso do CO₂. 2004. 308 p. Tese (D.Sc., Planejamento Energético) - Programa de Pós Graduação em Engenharia – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ , Rio de Janeiro, 2004.

CAPÍTULO 3 – IMPLICAÇÕES NA SAÚDE RESPIRATÓRIA DA POPULAÇÃO DE MANAUS DECORRENTES DA EMISSÃO DE MATERIAL PARTICULADO

Resumo: A concentração de material particulado, especialmente o de menor diâmetro, está fortemente associada a problemas de saúde respiratória. O presente capítulo teve como objetivo verificar se a concentração de material particulado na atmosfera de Manaus, seja pelos índices estimados do poluente pela visualização de satélite, seja pelo desempenho das principais atividades antrópicas responsáveis por sua emissão, estavam associados à quantidade de internamentos por problemas respiratórios na cidade no período de 2008 a 2019. Para tanto, foram testados modelos lineares, modelos generalizados lineares e modelos aditivos generalizados para verificar qual a modelagem mais adequada. Os modelos aditivos generalizados com regressão de Poisson, com curvas de suavização de ajustes de sazonalidade por fatores climáticos e indicadores de meses e anos, foi o que apresentou resultados mais consistentes. Não foi possível estabelecer associação entre concentração de PM_{2,5} e quantidade de internamentos, nem pelo total, nem pela quantidade de ocorrências por faixas etárias. Estes episódios parecem ser melhor explicados por casos de Influenza, cuja sazonalidade apresenta picos nos meses de chuva na Amazônia. No entanto, o modelo GAM apresentou forte associação entre a intensidade da geração de energia termelétrica, da frota de veículos, da quantidade de queimadas e da própria concentração de PM_{2,5}, o que pode indicar que outro poluente atmosférico fruto da atividade econômica urbana pode influenciar em atendimentos hospitalares por problemas respiratórios na cidade de Manaus.

Palavras-chave: Poluição atmosférica. Geração de energia termelétrica. Frota de Veículos. Refino de Petróleo. Queimadas. Saúde Ambiental. Síndrome Respiratória Aguda Grave. Manaus.

INTRODUÇÃO

Há diversos registros sobre episódios marcantes na história relacionados à poluição do ar, especialmente a partir da Revolução Industrial. Certamente, o mais emblemático deles é o de Londres, no inverno de 1952, quando o fenômeno de inversão térmica impediu a dispersão de poluentes oriundos de processos industriais e do sistema de aquecimento das casas, os quais utilizavam o carvão como combustível. Uma densa nuvem composta principalmente por material particulado e enxofre pairou sobre a cidade por aproximadamente três dias, período durante o qual o número de mortes naquela cidade foi elevado em quatro mil em relação à média de óbitos em períodos semelhantes (BRAGA *et al*, 2001).

Desse expressivo número de mortes, foi possível observar que grande parte das vítimas eram crianças, idosos e pessoas com problemas respiratórios ou cardíacos. A tragédia londrina, que combinou níveis excepcionalmente altos de poluentes, alta pressão atmosférica, temperaturas muito baixas e ventos fracos, despertou a atenção das autoridades para o problema da poluição do ar e culminou na introdução da Lei do ar limpo, em 1956 (BBC, 2021).

Nos Estados Unidos, ações de controle ambiental não estavam em pauta até aquele momento. Em 1955, o Congresso norte-americano financiou estudos que revelassem o impacto da poluição ambiental sobre a saúde e a economia, que culminou na criação do programa federal de poluição atmosférica, ligado ao Departamento de Saúde, Educação e Bem-Estar Social dos Estados Unidos (BRAGA *et al*, 2001). No Brasil, a Política Nacional de Meio Ambiente foi instituída muito tempo depois, em 1981 e regulamentada em 1990.

Apesar disso, a poluição ambiental ainda se constitui em um grave problema para a saúde humana. De maneira geral, a maior parte das mortes por fatores ambientais são devidas a doenças não transmissíveis, como acidentes vasculares cerebrais, cânceres e doenças pulmonares crônicas, e ocorrem principalmente na Ásia. A OMS estima que no ano de 2012, 12,6 milhões de pessoas no mundo perderam a vida por viver ou trabalhar em ambientes insalubres, e que 65% dessas mortes podem ser atribuídas à poluição do ar¹³ (WHO, 2012).

Embora seja um problema generalizado, crianças constituem a parcela da população mundial com grande nível de exposição à poluição atmosférica. A OMS revela que 93% das crianças com menos de 18 anos no mundo estão expostas a níveis de partículas finas no meio ambiente, ou PM_{2,5}, maiores do que os estabelecidos nas diretrizes de qualidade do ar da Entidade. Destas, 630 milhões são crianças com menos de 5 anos, e 1,8 bilhão com menos de 15 anos (WHO, 2018).

O grau de exposição de crianças à poluição do ar varia também de acordo com o nível de renda. Em países de renda média e baixa em todo o mundo, 98% das crianças menores de cinco anos respiram ar com níveis de PM_{2,5} mais elevados do que aqueles estabelecidos nas diretrizes da OMS. A parcela de crianças dessa faixa etária que está exposta a níveis elevados de PM_{2,5} em países de alta renda é de 52% (WHO, 2018).

Em países de renda mais baixa, o problema pode ser agravado em virtude da poluição que vem de dentro das casas, a poluição interna ou *indoor*. A OMS (2018) distingue a poluição do ar ao ar livre da poluição doméstica, esta última provocada pela queima de esterco, madeira e carvão para alimentar fogões ineficientes ou lareiras, e ainda a queima de querosene em lâmpadas de pavio simples.

Na Índia, onde a poluição do ar atinge níveis muito elevados, é possível observar que esse problema também adquire dimensões diferentes de acordo com os estratos sociais. O Jornal *New York Times* acompanhou a rotina de duas crianças em Delhi, uma das cidades mais poluídas do país, e constatou que a criança de família pobre esteve exposta a uma concentração

¹³ Inclui exposição ao fumo passivo

de poluentes quatro vezes maior ao longo do dia, do que a criança de classe média. Fatores como presença de purificadores de ar em casa, o meio de transporte, o ambiente escolar e o tempo ao ar livre foram determinantes para esse resultado (WU, 2020).

Ainda que o monitoramento da qualidade do ar seja essencial para o controle do nível de poluição e, portanto, uma forma de evitar ou minimizar danos à saúde da população, essa não é uma realidade presente no Brasil. Um levantamento feito pelo Instituto Saúde e Sustentabilidade (2019) verificou que das 27 unidades federativas, 20 não realizavam o monitoramento da qualidade do ar, ou deixaram de realizar, ou realizavam de forma obsoleta ou ineficiente. No estado do Amazonas, o monitoramento da qualidade do ar é feito com foco em fins acadêmicos.

Essa ausência de estrutura de monitoramento da qualidade do ar vai de encontro com o que dispõe a legislação brasileira, que no escopo da Política Nacional de Meio Ambiente criou o Programa Nacional de Monitoramento da Qualidade do Ar, o PRONAR, no ano de 1989. O primeiro instrumento normativo do Programa foi a Resolução CONAMA nº 03/1990, que estabeleceu os padrões nacionais de qualidade do ar e a responsabilidade dos estados para o monitoramento do ar nos seus respectivos territórios.

As partículas menores ou iguais a 10 µm são partículas inaláveis que podem atingir as vias aéreas inferiores, para onde são capazes de transportar gases adsorvidos em sua superfície. Nas porções mais distais das vias aéreas é onde ocorrem as trocas de gases no pulmão. À medida que se depositam no trato respiratório, essas partículas podem ser removidas por meio de mecanismos de defesa (BRAGA *et al*, 2001).

O primeiro desses mecanismos de defesa é o espirro, normalmente causado por partículas maiores, que acabam se depositando nas narinas em razão de seu tamanho. A tosse é um mecanismo semelhante, que ocorre quando há invasão pelas partículas do trato respiratório inferior, ou seja, além da laringe. Quando essas partículas são depositadas na superfície das células do trato respiratório, o mecanismo de defesa acionado é o aparelho muco-ciliar, composto de células com cílios e células secretoras de muco (BRAGA *et al*, 2001).

Os cílios realizam movimento constante no sentido pulmão-boca, de maneira a empurrar o muco para fora do trato respiratório. As partículas que atingem a orofaringe podem ser deglutidas, ao passo que aquelas que atingem as regiões mais distais das vias aéreas são fagocitadas pelos macrófagos alveolares, e são removidas pelo aparelho muco-ciliar, ou pelo sistema linfático (BRAGA *et al*, 2001).

Estudos indicam que a exposição a PM_{2,5} esteve associada a um aumento nos custos por internação por asma nos Estados Unidos (OPAS, 2018). A OMS acrescenta que o poluente

é responsável pelo aumento da morbidade respiratória aguda, como asma e pneumonia, aumento da mortalidade cardiovascular e respiratória e por hospitalizações por doença respiratória.

Manaus reúne as principais fontes antrópicas de emissão de material particulado, e ainda recebe a influência das queimadas que ocorrem no Estado. Nuvens de fumaça oriundas de queimadas e incêndios florestais, podem durar por algumas semanas com a ignição de novas queimas e apenas se desfazem com a ocorrência de chuvas. A circulação atmosférica pode dispersar essa fumaça para diversas partes do território (INPE 2019).

Assim, o presente Capítulo averigua se a evolução das atividades econômicas com maior potencial de emissão de material particulado, além da incidência de queimadas na Região Metropolitana de Manaus, teve alguma influência sobre a quantidade de internamentos por problemas respiratórios na população de Manaus no período de 2008 a 2019. Além disso, buscou-se verificar se crianças estão mais suscetíveis aos efeitos da poluição do ar, segundo aponta a Organização Mundial de Saúde (WHO, 2018).

3.1 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1.1 Dados e Área de Estudo

Os dados da pesquisa foram provenientes de coleta documental (LAKATOS; MARCONI, 2003), a partir de bancos de dados e registros administrativos de órgãos oficiais, publicados na rede mundial de computadores. Esses dados são mensais, dentro do período proposto para a pesquisa, ou seja, de janeiro de 2008 a dezembro de 2019.

Informações sobre os veículos que transitam em Manaus foram retiradas do conjunto de dados estatísticos disponibilizados pelo Departamento Nacional de Trânsito – DENATRAN. Para compor o modelo estatístico, foi utilizada a quantidade de veículos no mês de dezembro de cada ano. Já a geração mensal de energia termelétrica foi fornecida pela Amazonas Geração e Transmissão de Energia S.A. por meio do Sistema de Acesso à Informação do Governo Federal. e a unidade de potência utilizada está em Kwh.

A concentração de material particulado, em $\mu\text{g}/\text{m}^3$, é proveniente do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. A limitação do método de satélite refere-se aos poucos dados de observação para validação (INPE, 2020). A concentração utilizada neste trabalho é relativa às médias diárias da concentração averiguada nos horários de 0h00 e 12h00, para manter a compatibilidade com os anos de 2018 e de 2019, durante os quais só havia registro para os

mencionados horários. Não foi computada a concentração de PM10 porque não há registro da concentração dessa dimensão do poluente.

A quantidade de petróleo refinada mensalmente na refinaria de Manaus, em m³, foi coletada no sítio eletrônico da Agência Nacional do Petróleo – ANP, a partir do serviço de dados abertos disponível no sítio eletrônico da agência reguladora. As queimadas foram contabilizadas pelo número de ocorrências em cada um dos meses do ano, na Região Metropolitana de Manaus, de acordo com os registros disponibilizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE.

Ainda em relação às queimadas, foram selecionadas as informações do satélite de referência do período, o AQUA_M-T. Satélite de referência, de acordo com o INPE (2019), é aquele cujos dados diários de focos detectados são utilizados para formar a série temporal, de modo a permitir a análise de tendências para as mesmas regiões e entre regiões em um período de interesse.

Ressalva-se, em relação às queimadas, a espacialização elegida para a análise – a Região Metropolitana de Manaus. A razão para essa escolha é que a pluma de poluição proveniente de queimadas pode atingir grandes distâncias, até mesmo outras regiões. O INPE (2019) explica que em anos secos, no inverno, é comum a presença de nuvens de fumaça cobrindo milhões de quilômetros quadrados na parte central da América do Sul, principalmente no Brasil Central, no sul da Amazônia brasileira, na Bolívia, no Paraguai e no norte da Argentina. A Figura 3.1 ilustra a capacidade de deslocamento das plumas de poluição, como no caso em que partículas provenientes das regiões Norte e Centro-Oeste interagiram com nuvens de frente fria vindas do Sul do País, o que ocasionou escurecimento do céu e da água da chuva em São Paulo, em agosto de 2019.

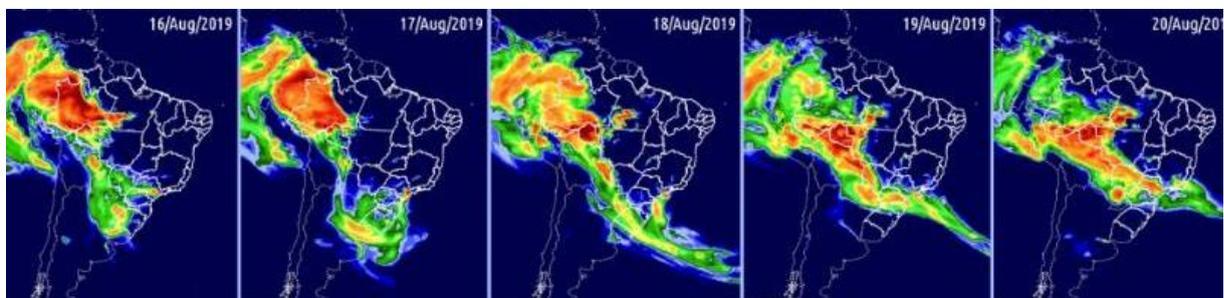


Figura 3.1 – Trajetória da Pluma de Material Particulado proveniente das Regiões Norte e Centro-Oeste em Agosto de 2019

Fonte: INPE, 2019

A Região Metropolitana de Manaus, constituída pela Lei Complementar nº 52/2007, é

composta pelos municípios de Autazes, Careiro, Careiro Várzea, Iranduba, Itacoatiara, Itapiranga, Manacapuru, Manaquiri, Manaus, Novo Airão, Presidente Figueiredo, Rio Preto da Eva e Silves. Com extensão territorial de 126.368 km², a Região Metropolitana de Manaus está localizada no setor central da Floresta Amazônica e ocupa cerca de 12.716.868,2 ha, conforme ilustrado na Figura 3.2.



Figura 3.2 – Região Metropolitana de Manaus

Fonte: Anjos *et al* (2017)

Na análise estatística foram utilizados ainda registros das médias mensais de temperatura (°C), umidade relativa do ar (%) e a precipitação total mensal (mm), os quais foram obtidos no sítio do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, com dados da Estação 82331.

Por fim, os registros de internamento por doenças do aparelho respiratório foram adquiridos a partir do banco de dados DataSUS, do Ministério da Saúde, com os filtros para seleção da Classificação Internacional de Doenças – CID – nº 10, que trata especificamente de doenças do aparelho respiratório. As informações sobre a quantidade de internamentos foram estratificadas por faixa etária da seguinte maneira: quantidade total; menores de 1 ano; 1 a 4 anos; 5 a 9 anos; 10 a 14 anos; 15 a 19 anos; 20 a 29 anos; 30 a 39 anos; 40 a 49 anos; 50 a 59 anos; 60 a 69 anos; 70 a 79 anos; 80 anos e mais.

3.1.2 Métodos Aplicados

A análise é de natureza quantitativa, com a utilização de método estatístico, processada pelo software livre “R”. O modelo foi constituído a partir das premissas estabelecidas em estudos similares realizados por Martins *et al* (2001), Conceição *et al* (2001), Tadano *et al* (2009) e Saldiva *et al* (1994), que utilizaram dados diários de medições de estações de monitoramento da qualidade do ar da concentração de poluentes para avaliar a relação com a morbi-mortalidade da população.

Este estudo, porém, utiliza dados mensais de geração de energia termelétrica, do montante da frota de veículos, da quantidade de refino, do quantitativo de queimadas, da média mensal da umidade relativa do ar, da média mensal da temperatura, do volume de precipitação mensal e da concentração atmosférica de material particulado PM_{2,5}, estas na condição de variáveis preditoras em modelos distintos; e a quantidade mensal de internamentos hospitalares decorrentes de problemas respiratórios na condição de variável resposta. Para verificar a relação existente entre as variáveis preditoras e a variável resposta foram calculados os coeficientes de Pearson.

Conforme Lakatos e Marconi (2003), os processos estatísticos permitem obter, de conjuntos complexos, representações simples. A partir de tais representações, é possível constatar se essas verificações simplificadas têm relações entre si. O modelo estatístico utilizado para analisar eventuais relações entre a poluição atmosférica e o impacto na saúde é a regressão, uma ferramenta útil para avaliar a associação entre variáveis explicativas e a variável resposta (MARTINS *et al*, 2000).

O modelo tradicional de regressão é a linear, que pode ser simples ou múltipla. A forma múltipla, com mais de uma variável independente, pode ser descrita da seguinte maneira:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_n + \varepsilon \quad (1)$$

onde: y é a variável resposta; x_i ($i= 1,2,\dots,n$) são as variáveis explicativas; β_0 representa o valor de y quando as variáveis explicativas são nulas; β_1 são os coeficientes de regressão e ε é resíduo ou erro de previsão.

Conceição, Saldiva e Singer (2001) destacam, entretanto, que em estudos nos quais a variável resposta é uma contagem de eventos que representam danos à saúde, como número de óbitos ou número de internações por causa respiratória, a relação entre as variáveis pode apresentar um comportamento não linear. Variáveis como a descrita podem ser caracterizadas

como discretas, aquelas que tem valores observados somente em pontos isolados ao longo de uma escala de valores (KAZMIER, 2007).

Há evidências, tanto teóricas quanto empíricas, que essas variáveis são fortemente influenciadas por fatores sazonais e pelas condições climáticas, razão pela qual o comportamento da relação entre elas pode não ser o mesmo ao longo de todos os valores de seu domínio e, mesmo se o apresentarem, a intensidade da associação pode não ser constante (CONCEIÇÃO; SALDIVA; SINGER, 2001).

Nessas circunstâncias, Zuur *et al* (2009) apontam adequação na utilização de Modelos Lineares Generalizados (GLM) e Modelos Aditivos Generalizados (GAM) para modelos não lineares.

$$Y_i = \alpha + \beta_1 \times X_{1i} \times e^{\beta_2 \times X_{2i} + \beta_3 \times X_{3i}} + \epsilon_i \quad (2)$$

Um modelo como o acima descrito não é linear, porque seus parâmetros não são lineares. Quando, por opção ou falta de possibilidade de linearizar os dados, uma alternativa é utilizar modelos de suavização. Esses modelos não lineares, pertencentes à família dos Modelos Aditivos Generalizados, permitem relações entre a variável resposta e múltiplas variáveis explicativas (ZUUR *et al*, 2009).

Modelos Aditivos Generalizados podem ser considerados como uma generalização de Modelos Lineares Generalizados (LIMA, 2001). Estes, podem ser descritos da seguinte maneira:

$$g[E(Y|X_1, \dots, X_p)] = \alpha + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_p X_p \quad (3.1)$$

onde Y é uma variável resposta, X_1, \dots, X_p são variáveis preditoras, $g(\bullet)$ é a função de ligação que relaciona a média da resposta com as variáveis preditoras e $\alpha, \beta_1, \dots, \beta_p$ são parâmetros a serem estimados. Assume-se que a distribuição da variável aleatória Y pertence à família exponencial.

Quanto à função de ligação g, trata-se de uma função monótona e diferenciável, capaz de conectar as componentes aleatória e sistemática, ou seja, relaciona a média da variável resposta (μ) à estrutura linear. Quando a função de ligação (η) é igual ao parâmetro de localização ou parâmetro canônico (Θ), a função é chamada de função de ligação canônica. (TADANO; UGAYA; FRANCO, 2009).

Essas funções podem ter diversos tipos de distribuição: normal, Poisson, Binomial, Gama ou Gaussiana inversa. Assim, se η é uma função logarítmica e y possui distribuição de

Poisson, o modelo resultante é o modelo de regressão de Poisson com função de ligação canônica, utilizado para analisar dados não negativos em forma de contagem (TADANO; UGAYA; FRANCO, 2009).

É também possível adotar o GAM - modelo não paramétrico no qual a relação entre a resposta y e cada uma das variáveis preditoras é ditada pelos próprios dados, já que é estimada por meio de curvas de alisamento. Com essa substituição, não é necessário assumir relação linear entre $g(\mu)$ e as variáveis explicativas, como no GLM, nem mesmo conhecer previamente a forma dessa relação, mas é possível estimá-la a partir de um conjunto de dados (CONCEIÇÃO; SALDIVA; SINGER, 2001). Os GAMs têm a seguinte forma:

$$g[E(Y|X_1, \dots, X_p)] = \alpha + f_1(X_1) + \dots + f_p(X_p) \quad (3.2)$$

Onde $g(\bullet)$ é definida como em (3.1), α é um parâmetro a ser estimado e f_1, \dots, f_p são funções arbitrárias não especificadas. A única restrição sobre essas funções é que devem ser suaves. O termo “aditivo” decorre do fato de o modelo (3.2) ser constituído pela soma de funções das variáveis preditoras, o que permite avaliar o efeito de cada uma delas na variável resposta, condicionalmente à presença das outras covariáveis no modelo. A existência de interação entre duas covariáveis X_i e X_j , $i, j=1, \dots, p$, $i \neq j$, pode ser avaliada definindo-se a variável $X_{p+1} = X_i X_j$, e adicionando-se o termo $f_{p+1}(X_{p+1})$ (LIMA, 2001)

Conceição, Saldiva e Singer (2001) apresentam os GAM como uma alternativa para a modelagem de relações não lineares em estudos para análise de associação entre poluição atmosférica e marcadores de morbi-mortalidade. As funções não paramétricas denominadas curvas de alisamento, em que a forma de associação é definida pelos próprios dados, podem ser obtidas por diversos métodos, tais como: binário, médias móveis, *loess* ou *cubic splines*. A escolha do alisador deve considerar o tipo de média dos valores de y a ser calculada e o tamanho da vizinhança (CONCEIÇÃO, SALDIVA, SINGER, 2001).

Em estudo similar, Martins *et al* (2001) utilizaram a função *loess* para alisamento de dias transcorridos e número de internações para modelar a sazonalidade e uma possível tendência. Conceição, Saldiva e Singer (2001) a utilizaram para substituir por uma curva alisada do número de óbitos em função de dias transcorridos. Também, polinômios envolvendo as medidas de temperatura e umidade foram substituídos por curvas alisadas do número de óbitos em função dessas variáveis.

A ressalva em relação à utilização de curvas de alisamento é concernente aos coeficientes estimados correspondentes a essas curvas, já que eles não são interpretáveis. No

entanto, são adequadas para estimação do risco, em uma primeira abordagem, com o objetivo de sugerir ao pesquisador que tipo de função paramétrica ou variável indicadora poderia ser mais adequada (CONCEIÇÃO; SALDIVA; SINGER, 2001).

Assim, foram testados dois modelos: no primeiro deles o material particulado foi a variável preditora e o número de internamentos a variável resposta; no segundo, as variáveis preditoras utilizadas foram a frota de veículos, a geração de energia, o refino de petróleo, as queimadas, a temperatura média, a precipitação total, e a umidade relativa. O número de dias transcorridos e os meses foram utilizados como variável de controle. Para checar a eficiência de ajuste das modelagens GAM das variáveis PM e Total de internamentos, foram realizadas comparações com modelos lineares (LM) e modelos lineares generalizados (GLM).

O pacote MGCV determina automaticamente o número de nós (k) por meio de validação cruzada generalizada (GCV). Contudo, utilizando a função GAM CHECK(), que pega um objeto GAM ajustado produzido por GAM() e produz algumas informações de diagnóstico sobre o procedimento de ajuste e os resultados, nota-se que quando p-valor do teste é significativo, o valor de k deve ser aumentado, e após algumas tentativas para a variável Frota de Veículos manteve-se o valor em k=15. As demais variáveis mantiveram os valores como default, ou parâmetro padrão.

3.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com o mapa de calor da Tabela 3.1, os meses com as maiores médias de ocorrências de internamentos decorrentes de doenças do aparelho respiratório nos anos de 2008 a 2019 foram: março, abril, maio e junho; embora o mês com maior número de ocorrências tenha sido o mês de maio. A faixa de idade com maior número de internamentos foi a de até 1 ano e de 1 a 4 anos. A faixa de 15 a 19 anos foi a que apresentou o menor número de internações ao longo dos meses, ao passo que a quantidade de internamentos da faixa de pessoas acima de 60 anos não foi expressiva.

Tabela 3.1 – Mapa de Calor com Valores Médios de Ocorrências de Internamentos por Faixa de Idade e Mês de Ocorrência - 2008 a 2019

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total Geral
Idade até 1 ano	149	172	299	364	417	363	252	196	165	175	151	131	236
Idade 1 a 4	177	225	365	385	385	343	272	260	214	240	210	183	272
Idade 5 a 9	49	72	113	96	93	82	78	86	72	82	71	67	80
Idade 10 a 14	27	34	41	37	34	32	29	37	29	32	31	28	33

Tabela 3.1 – Mapa de Calor com Valores Médios de Ocorrências de Internamentos por Faixa de Idade e Mês de Ocorrência - 2008 a 2019 (Continuação)

Mês	jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	jul	ago	Set	Out	Nov	Dez	Total Geral
Idade 15 a 19	13	13	18	17	17	16	16	16	15	15	15	12	15
Idade 20 a 29	28	23	30	30	31	30	29	27	28	30	28	23	28
Idade 30 a 39	25	24	28	28	29	27	27	26	24	25	26	24	26
Idade 40 a 49	25	22	33	28	29	27	25	27	26	27	25	24	26
Idade 50 a 59	32	30	33	37	35	33	31	32	31	34	29	28	32
Idade 60 a 69	38	39	43	44	45	42	44	37	37	39	37	36	40
Idade 70 a 79	44	43	47	48	51	45	43	45	43	43	41	41	44
Idade > 80	39	39	51	50	52	47	40	43	43	42	43	40	44

Legenda ■ alto número de internamentos ■ médio número de internamentos ■ baixo número de internamentos

Fonte: Elaboração própria com dados do DataSUS, 2020

Moya *et al* (2004) explicam possíveis razões para a maior vulnerabilidade de crianças pequenas e lactantes. De acordo com os autores, pessoas dessa faixa têm uma taxa metabólica de repouso superior, ou seja, uma necessidade maior de energia consumida para manter as funções fisiológicas no estado de repouso (BONGANHA *et al*, 2009). Além disso, apresentam uma maior taxa de consumo de oxigênio por unidade de peso corporal do que os adultos, o que as fazem inalar mais poluentes por quilograma de peso corporal. Portanto, a exposição a qualquer dos poluentes do ar pode ser maior para as crianças.

Além de uma maior necessidade de oxigênio em relação ao seu tamanho, as crianças têm vias aéreas mais estreitas do que a dos adultos. Assim, a irritação causada pela poluição do ar que produziria somente uma leve resposta em um adulto pode resultar em obstrução potencialmente significativa nas vias aéreas de uma criança (MOYA *et al*, 2004).

Em relação à concentração média anual de material particulado PM_{2,5}, o nível aceitável recomendado pela Organização Mundial de Saúde é de 10 µg/m³. No entanto, a média anual em Manaus, de acordo com dados do INPE (2020) teve sua menor média anual registrada no ano de 2013, quando o valor correspondeu a 15,45 µg/m³ e chegou a 24,93 µg/m³ no ano de 2015. Os resultados das médias mensais e anuais de concentração de MP_{2,5} em Manaus estão representados na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Médias Aritméticas Mensais e Anuais da Concentração de PM_{2,5} em Manaus - 2008 a 2019

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Janeiro	16,44	13,13	13,79	13,56	16,62	15,17	12,84	18,81	26,02	14,71	12,23	13,67
Fevereiro	18,06	10,91	14,26	9,29	12,81	12,36	12,74	13,07	20,52	14,08	10,39	16,78
Março	16,88	14,81	15,25	15,95	17,89	13,96	20,48	15,97	18,01	14,71	13,36	25,53
Abril	15,43	15,16	13,21	16,99	15,04	12,43	14,45	17,40	16,15	19,48	14,02	14,44
Mai	13,71	18,20	11,83	13,78	14,68	12,06	12,10	13,61	13,16	12,94	9,58	16,11
Junho	14,62	11,21	11,19	13,04	11,12	11,57	13,82	12,02	13,59	13,91	13,29	18,44
Julho	15,97	12,68	16,19	13,19	13,10	13,32	12,04	10,63	13,47	14,93	19,92	14,06
Agosto	20,56	18,54	25,05	14,58	23,88	13,99	22,63	17,06	20,61	23,60	19,75	23,12
Setembro	17,28	41,43	36,43	21,21	24,68	16,64	28,77	40,04	17,14	27,99	33,26	17,64
Outubro	23,75	50,17	23,55	19,23	34,76	28,07	21,92	57,71	27,96	23,33	53,79	21,18
Novembro	25,36	41,03	15,78	20,77	31,62	18,63	26,89	38,16	21,93	31,96	34,10	20,28
Dezembro	14,16	16,98	16,22	19,92	16,62	17,23	18,91	44,61	18,63	22,08	14,87	17,10
Média Anual*	17,69	22,02	17,73	15,96	19,40	15,45	18,13	24,93	18,93	19,48	20,71	18,20

Fonte: Elaboração Própria com dados do INPE (2020)

*Média Aritmética

A Figura 3.3 ilustra como se distribuíram as concentrações mensais de PM_{2,5} nos anos de 2008 a 2019 em Manaus, em que há episódios que atingiram picos que ultrapassaram os 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ nos anos 2015 e de 2018 e medianas superiores a 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ em todos os anos, à exceção de 2013 e 2018.

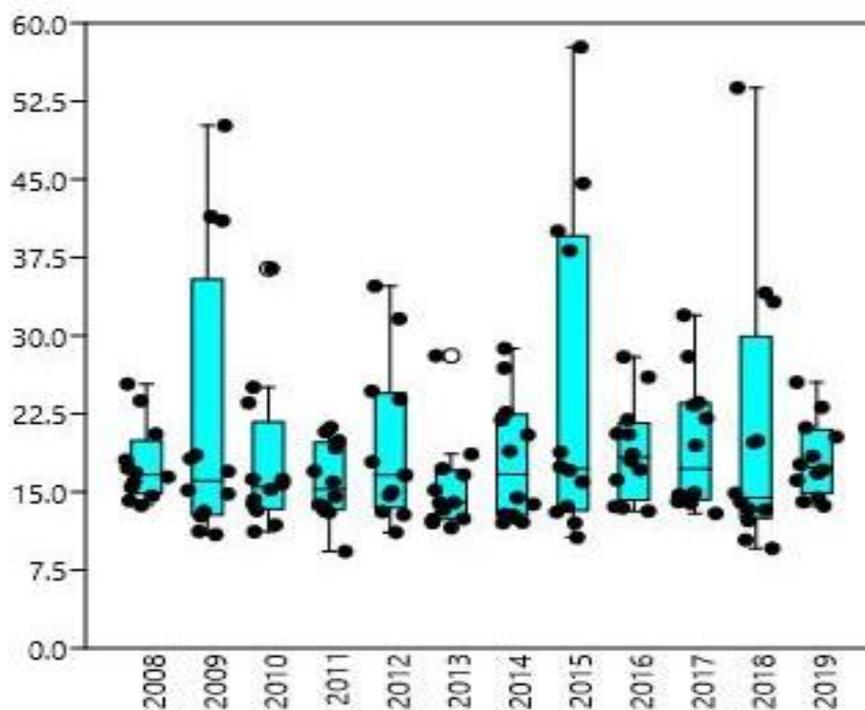


Figura 3.3 – Médias Mensais da Concentração de Material Particulado 2,5 em Manaus-2008 a 2019

Fonte: Elaboração própria com dados do INPE (2020)

Observa-se que a concentração excepcional de PM_{2,5} no ano de 2015 coincidiu com o pico de focos de queimadas na Região Metropolitana de Manaus, segundo dados do INPE (2020). A Figura 3.4 demonstra que no período de seca, especialmente nos meses de agosto, setembro e outubro, cresce o número de queimadas. No ano de 2015 foi registrada a maior incidência desses episódios no período ora analisado, com 22.616 focos no ano, e 9.331 focos somente no mês de setembro.

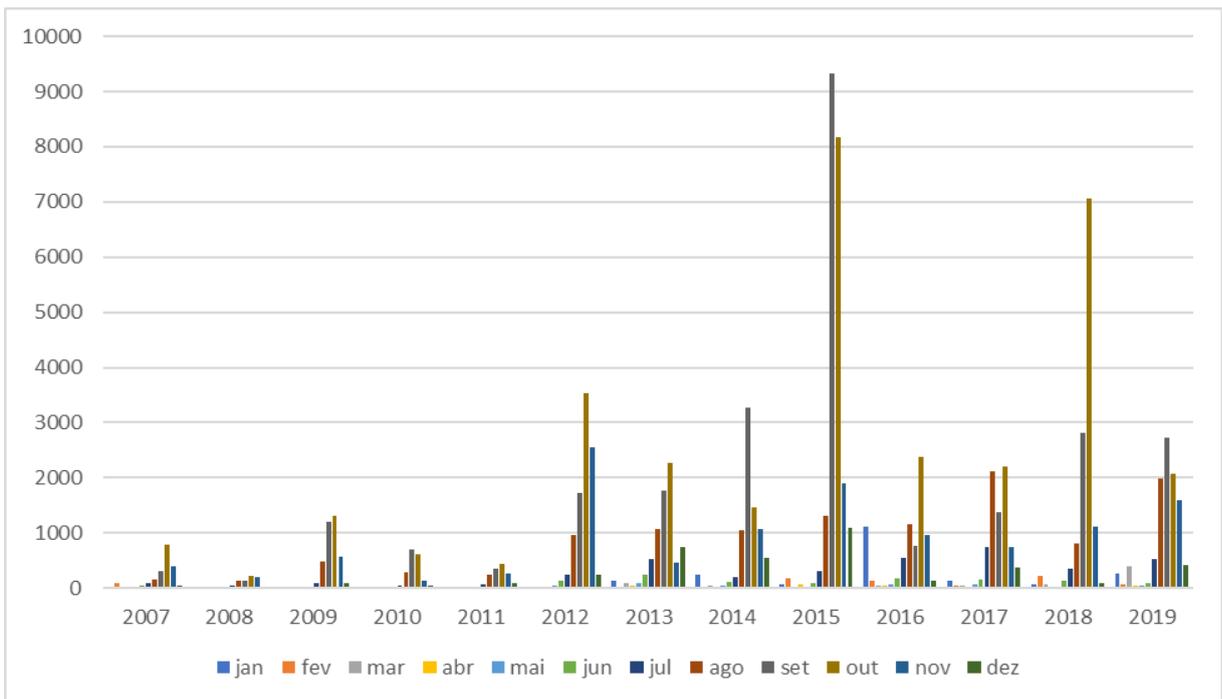


Figura 3.4 – Quantidade Mensal de Queimadas na Região Metropolitana de Manaus - 2008 a 2019

Fonte: Elaboração própria com dados do INPE (2020)

A maior quantidade de queimadas na Região Metropolitana de Manaus no ano de 2015 não causou repercussões relevantes no número de internamentos totais por problemas respiratórios em Manaus. A Figura 3.5 retrata o número mensal de internamentos registrados na divisão CID10 - nº 10 na capital do Amazonas, mediante a qual é possível observar que o número de internações sob essa condição foram mais acentuadas no ano de 2012, segundo a média móvel de 4 períodos retratada na figura.

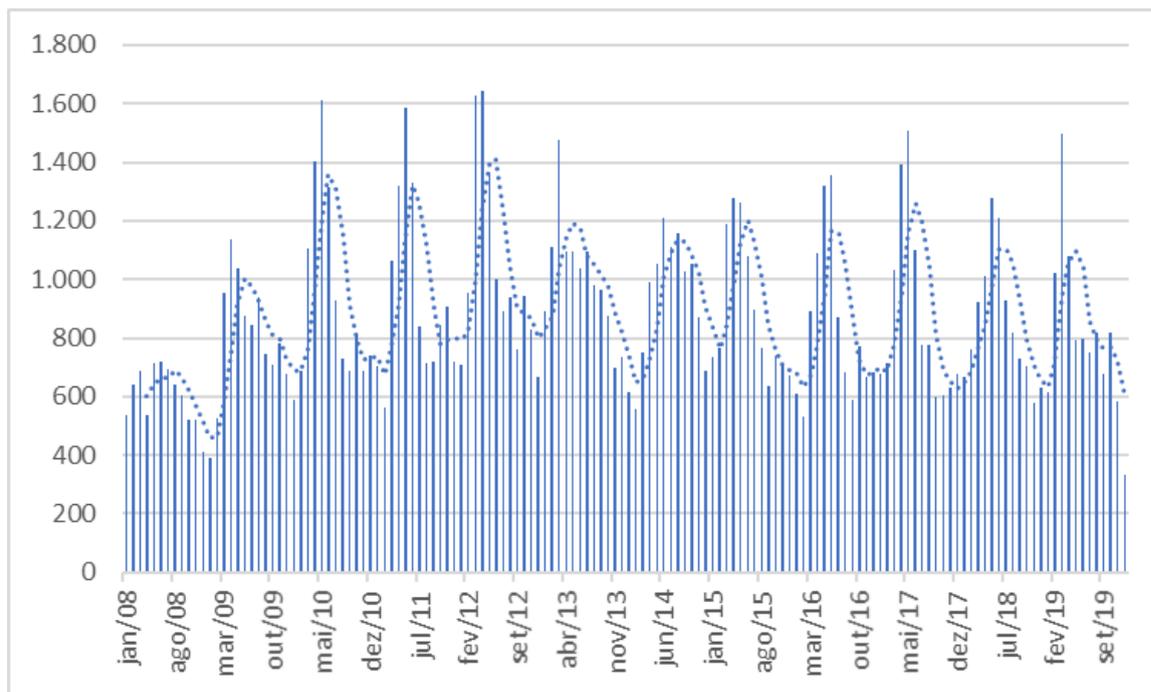


Figura 3.5 – Quantidade Total de Internamentos registrados sob a CID 10 em Manaus - 2008 a 2019 – Média Móvel de 4 períodos

Fonte: Elaboração própria com dados do DATASUS (2020)

Carmo *et al* (2010) encontraram relação entre a intensidade da presença diária do poluente na atmosfera e o número de atendimentos ambulatoriais no sul da Amazônia brasileira. Naquela região está localizado o arco do desmatamento e são frequentes as queimadas, e a exposição ao material particulado proveniente da queima da biomassa afeta especialmente crianças. Os autores revelam que, diferente do que ocorre em ambientes urbanos, onde a exposição à poluição é crônica, na Amazônia Brasileira há uma exposição de elevada magnitude por um período médio de 3 a 5 meses, durante o qual os níveis de material particulado com diâmetro inferior a $10\mu\text{m}$ pode atingir o patamar de $400\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Ressalva-se que, embora a concentração anual de $\text{PM}_{2,5}$ em Manaus registrada no período de análise ultrapassou com frequência o padrão sugerido pela OMS, os valores estiveram dentro de parâmetros aceitáveis pelos critérios de transição estabelecidos pelo CONAMA na maior parte dos anos, em valores significativamente abaixo daqueles registrados no Arco do Desmatamento. A Resolução nº 491/2018 do referenciado Conselho dispõe sobre padrões de qualidade do ar no Brasil, como valores de concentração de um determinado poluente na atmosfera, associado a um intervalo de tempo de exposição. Além disso, o referido colegiado definiu padrões de qualidade intermediários a serem cumpridos em etapas (PI-1, PI-2 e PI-3), até o atingimento do padrão de qualidade do ar final (PF), que se tratam dos valores guia definidos pela OMS, conforme Quadro 3.1.

Quadro 3.1 – Padrões de Qualidade do Ar Definidos pelo CONAMA

Poluente Atmosférico	Período de Referência	PI-1	PI-2	PI-3	PF
Material	24 horas	60	50	37	25
Particulado PM2,5	Anual*	20	17	15	10

Fonte: CONAMA, 2018

*Média Aritmética

Nesses termos, para verificar se houve efeito da variável PM2,5 Média Mensal sobre o número total de internamentos em Manaus, foram testados três modelos estatísticos: Modelos lineares (LM), Modelos Lineares Generalizados (GLM) e Modelos Aditivos Generalizados (GAM). Todos os modelos foram altamente significativos ($p < 0,05$), porém os coeficientes de determinação R^2 ¹⁴ para LM, pseudo R^2 ¹⁵ para GLS, e Deviance explicada¹⁶ (%) para GAM foram muito baixos, com valores respectivos de 7%, 7% e 11,5%, segundo os dados da Tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Modelagem Estatística da Variável resposta “Total de Internamentos” considerando PM como variável independente em três tipos de modelagem: Modelos Lineares (LM), Modelos Lineares Generalizados (GLM) e Modelos Aditivos Generalizados (GAM)

stats::lm() modelos lineares					
Coefficientes	Estimate	Std.Error	t.value	Pr(> t)	
(Intercept)	1035,88	54,07	19,16	<2e-16	***
PM	-8,37	2587,00	-3,23	0,00152	**
R^2	0,07				
R^2 ajustado	0,06				
Família	Gaussiana				
Link	Identidade				
stats::glm() modelos lineares generalizados					
Coefficientes paramétricos	Estimate	Std.Error	z.value	Pr(> z)	
(Intercept)	6,97	0,01	970,50	<2e-16	***
PM	-0,01	0,0004	-29,10	<2e-16	***
Pseudo R^2	0,07				

¹⁴ R^2 é o teste de qualidade de ajuste para o modelo linear. Trata-se de uma medida estatística de quão próximos os dados estão da linha de regressão ajustada. Ele também é conhecido como o coeficiente de determinação ou o coeficiente de determinação múltipla para a regressão (MINITAB, 2021).

¹⁵ Pseudo- R^2 é um teste para avaliação de modelos não lineares cujas estimativas são de máxima verossimilhança, obtidas por meio de processo iterativo. Embora estejam em uma escala semelhante a do R^2 , não devem ser interpretados da mesma forma (UCLA, 2021)

¹⁶ Deviance explicada, EDF, é o teste utilizado para modelos aditivos generalizados, e mede o valor do desvio entre o ajuste do modelo com p preditores e o modelo de ajuste perfeito (REIS (2007)

Tabela 3.3 – Modelagem Estatística da Variável resposta “Total de Internamentos” considerando PM como variável independente em três tipos de modelagem: Modelos Lineares (LM), Modelos Lineares Generalizados (GLM) e Modelos Aditivos Generalizados (GAM) (Continuação)

stats:: glm() modelos lineares generalizados					
Família	Poisson				
Link	Log				
mgcv:: gam() modelos aditivos generalizados					
Coefficientes paramétricos	Estimate	Std.Error	z.value	Pr(> z)	
(Intercept)	6,77	0,003	2392	<2e-16	***
Approximate significance of smooth terms:					
	Edf	Ref.df	Chi.sq	p-value	
s(PM)	8,903	8,997	1349	<2e-16	***
R ² ajustado	5,12E-04				
Deviance explicada	11,5%				
Família	Poisson				
Link	Log				

Fonte: Elaboração própria no Software R

Mediante os resultados apresentados, não foi possível estabelecer uma associação estatística entre os níveis de concentração de material particulado e os casos de hospitalização na cidade de Manaus, nem pelo total de internamentos, nem pelos grupos etários. Barbosa (2014) já havia constatado que a concentração de material particulado em Manaus não foi determinante para o índice de mortalidade por doenças respiratórias na cidade. O método utilizado pela mencionada pesquisa utilizou instrumento amostrador de impactação inercial, equipamento utilizado na coleta de material particulado de fração igual ou inferior a 2,5 µm.

O resultado referenda os dados da estatística descritiva abordada no início deste item, mediante os quais pode-se observar que a maior quantidade de internamentos ocorreu em períodos chuvosos, de alta umidade. Esse resultado condiz também com o diagnóstico da Fundação de Vigilância Sanitária do Amazonas (AMAZONAS, 2019), que na divulgação de boletins acerca da situação epidemiológica da síndrome respiratória aguda grave no Amazonas antes da Pandemia de COVID-19, apontou que havia registros mais frequentes da enfermidade decorrentes da infecção por influenza dos tipos A e B, que são responsáveis por epidemias sazonais, com maior incidência na Região Amazônica no período chuvoso, de dezembro a maio.

Ainda que a hipótese inicial tenha sido refutada, ou seja, que a concentração de material particulado na atmosfera em Manaus não tenha atingido concentrações suficientemente

capazes de gerar aumento nas internações por problemas respiratórios em Manaus, é necessário sopesar esse resultado. A incidência de queimadas na região tem apresentado uma tendência de alta nos últimos anos, conforme se pode verificar na Figura 3.4. Assim, caso essa tendência de alta nos episódios de queimadas persista, e a concentração de material particulado se eleve especialmente no período de seca na Amazônia, o sistema de saúde da capital poderá sofrer sobrecarga durante os dois semestres do ano em virtude dos índices de poluição atmosférica decorrente da maior fonte de material particulado aqui retratada.

Essa reflexão encontra fundamento na correlação que as atividades antrópicas que compõem o segundo modelo estatístico possuem entre si. Para compreender essa relação foi feito um correlograma do Coeficiente de Pearson (r), representado pela Figura 3.6, a seguir.

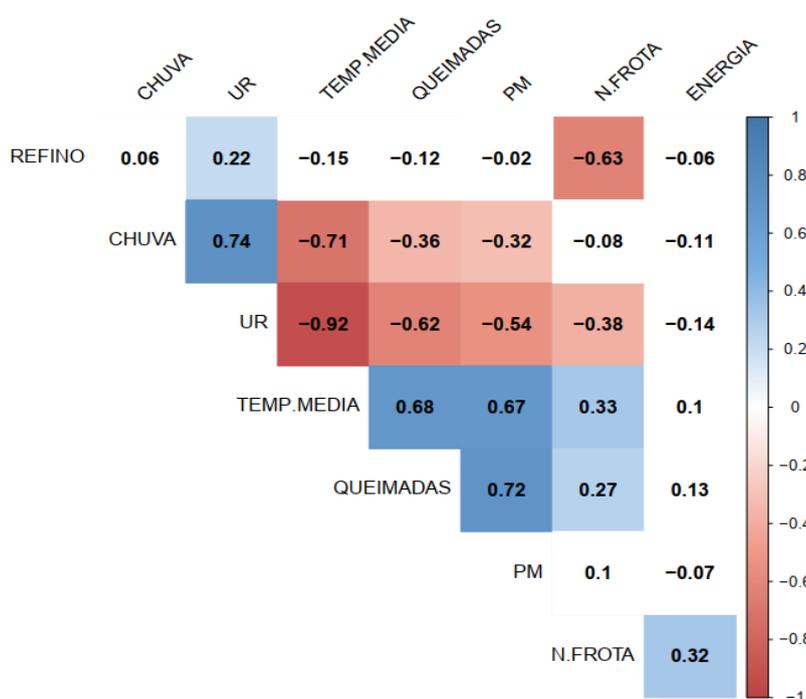


Figura 3.6 – Correlograma das Variáveis Independentes Avaliadas
 Fonte: Elaboração própria com dados do DATASUS (2020), INPE (2020), INMET (2020), DENATRAN (2020) ANP (2020) e Eletrobrás (2020)
 Nota: Valores coloridos (azul ou vermelho) são significativos pelo teste t ($p < 0,05$).

Os valores destacados em azul revelam uma relação diretamente proporcional entre as variáveis, ao passo que, os em vermelho, a relação é inversamente proporcional. Quanto mais próximos os valores de 1, maior é essa relação, e o resultado de $r=0$ corresponde à não associação. As maiores correlações e significativas pelo teste t ($p < 0,05$) foram Umidade Relativa (UR) x Temperatura Média (TEMP.MÉDIA) com $r=-0,92$; CHUVA x UR, com $r=0,74$; QUEIMADAS x Material Particulado 2,5 (PM), com $r=0,72$; CHUVA x TEMP.MÉDIA, com $r=-0,71$. A hipótese de multicolinearidade foi descartada em virtude de o

modelo mais representativo ser não-paramétrico, de modo que todas as variáveis preditoras foram mantidas.

Destaca-se que a concentração de material particulado na atmosfera de Manaus tem forte correlação positiva com temperaturas médias e com as queimadas, ao passo que tende a diminuir com o aumento de chuvas e da umidade relativa do ar. De acordo com Martins (2006), a chuva é um meio de deposição úmida de partículas no ambiente, o que faz com que a concentração do poluente diminua em períodos chuvosos. Carmo *et al* (2010) acrescentam que no período de chuvas, há níveis muito baixos de poluição na atmosfera amazônica, embora a aferição das médias mensais da concentração de PM_{2,5} em Manaus, demonstradas na Tabela 3.2, não exponham claramente essa sazonalidade na cidade. É possível este efeito esteja relacionado a fenômenos climatológicos típicos de centros urbanos que ocorrem a partir do desflorestamento urbano e criação de ilhas de calor, e que contribuem para a atração e concentração de poluentes pelo fenômeno de inversão térmica (TORRES; MACHADO, 2008).

Para verificar o efeito das variáveis N.Frota, Energia, Refino, Queimadas, Chuva, Temp.Media, UR, PM, Mês (categórica), Ano (Categórica) como variáveis preditoras sobre o número total de internamentos em Manaus, foram testados três modelos estatísticos: Modelos lineares (LM), Modelos Lineares Generalizados (GLM) e Modelos Aditivos Generalizados (GAM). Todos modelos foram altamente significativos ($p < 2,2e-16$).

As estatísticas de ajustes para LM, GLS e GAM foram todos acima de 66%, com valores respectivos de $R^2=70,2\%$ (LM), Pseudo $R^2=66\%$ (GLS) e Deviance explicada= $89,4\%$ (GAM). Portanto, o modelo GAM conseguiu captar a maior variabilidade devido as suas características de suavidade da curva das oito variáveis numéricas preditoras e as duas variáveis categóricas - Ano e Mês, conforme demonstrado na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 – Estatísticas de Ajuste da variável resposta TOTAL INTERNAMENTOS considerando três tipos de modelagem: Modelos lineares (LM), Modelos Lineares Generalizados (GLM) e Modelos Aditivos Generalizados (GAM)

stats::lm()		stats::glm()		mgcv::gam()	
p-valor	<2,2e-16	p-valor	<2,2e-16	p-valor	<2,2e-16
R ²	70,2%	Pseudo R ²	0,66	Deviance explicada	89,4%
R ² ajustado	0,62	-	-	R ² ajustado	0,67
Família	Gaussiana	Família	Poisson	Família	Poisson
Link	Identidade	Link	Log	Link	Log

Fonte: Elaboração Própria utilizando o Software R

Nota: Modelo especificado: TOTAL.INTERNAMENTOS ~ N.FROTA + ENERGIA + REFINO + QUEIMADAS + CHUVA + TEMP.MEDIA + UR + PM + MÊS + ANO

Ainda considerando o total de internamentos, percebe-se que no modelo linear nenhuma variável quantitativa foi significativa (N.Frota, Energia, Refino, Queimadas, Chuva, Temp.Media, UR, PM). A variável Mês (categórica) foi significativa e o mês de maio foi o que apresentou o maior número de internamentos, conforme dados da Tabela 3.1, motivo pelo qual foi o mês utilizado como referência. A variável Ano não foi significativa no modelo linear (LM).

No modelo GLM todas variáveis foram significativas, com a exceção de N.Frota, provavelmente devido ao seu relacionamento altamente não linear com a variável Total de internamentos (Apêndice B). No modelo GAM todas variáveis foram significativas: as variáveis Energia, Refino, Queimadas, Chuva, Temp.Media, UR e PM apresentaram EDF¹⁷ entre 8,06 e 9,00.

No modelo GAM os meses janeiro, fevereiro, março e abril foram os mais similares ao mês de maio e a variável preditora Ano apresentou diferença em todos os anos quando comparados com a base de 2008. Destaca-se que na faixa de idade de até 1 ano, todas variáveis foram altamente significativas. O R² ajustado foi de 0,64 e o EDF foi igual a 87,5%, segundo resultados constantes no Apêndice C.

O cotejo dos resultados dos modelos GAM aqui apresentados reforçam, por um lado, uma desassociação entre a concentração de material particulado MP_{2,5} na atmosfera de Manaus e a quantidade de internamentos totais e por faixas etárias. Por outro, indicam que a intensidade das atividades antrópicas se relaciona ao número de internamentos por problemas respiratórios em todas as faixas etárias, especialmente aos de crianças de até 1 ano de idade.

Uma hipótese para tal constatação é a de que outro poluente, ou a associação entre poluentes derivados das atividades antrópicas listadas neste capítulo interfiram de modo mais prejudicial na saúde respiratória da população de Manaus. Saldiva (2018) ensina que as partículas atmosféricas são o poluente atmosférico mais consistentemente relacionado com os danos à saúde humana, tanto pela sua composição, quanto por suas características aerodinâmicas. Contudo, o autor acrescenta que “a poluição do ar é uma mistura complexa, ou uma mistura de misturas, e se materializa em duas fases: as partículas e os gases” (SALDIVA, 2018 p.69).

De acordo com WHO (2002), outros poluentes além do material particulado, como o

¹⁷ O EDF é uma estatística resumida do GAM e reflete o grau de não linearidade de uma curva (WOOD, 2017). Um edf igual a 1 é equivalente a uma relação linear, $1 < \text{edf} \leq 2$ é considerado um relacionamento fracamente não linear, e $\text{edf} > 2$ implica uma relação altamente não linear (ZUUR et al. 2009).

ozônio, os óxidos de nitrogênio, o monóxido de carbono e o dióxido de enxofre podem causar problemas como: irritação e inflamação no pulmão, redução da função pulmonar, toxicidade, aumento da reatividade das vias aéreas, redução na capacidade de transporte do oxigênio, doenças pulmonares crônicas, bronquite, dentre outras. O monitoramento constante dos poluentes atmosféricos é, portanto, relevante tanto no sentido de acompanhar seus efeitos na saúde da população, quanto para atestar a adequação do nível aceitável de poluição do ar e do controle desses padrões pelos diferentes níveis de Governo, embora Carmo *et al* (2010) apontem que a implantação de uma rede automática de monitoramento de poluição do ar na Amazônia é inviável, seja pelo elevado custo de manutenção, seja pela escassez de infraestrutura física e de pessoal treinado para operá-la.

Outro ponto importante se refere ao monitoramento da pluma de poluição proveniente de Manaus e a capacidade e velocidade dos meios de dispersão e deposição das partículas. Em levantamento realizado no ano de 2015, Cirino *et al* (2018) constataram que a pluma proveniente de Manaus sofre transformações físicas e químicas durante o transporte por meio de ventos, e tem forte influência sobre os municípios de Iranduba e Manacapuru. O tempo médio de deslocamento até os mencionados municípios integrantes da Região Metropolitana de Manaus foi estimado pelos autores em 4,5h, em média, com a observação de redução da concentração de gases-traço e de partículas, atribuída principalmente ao efeito de diluição provocado por massas de ar mais limpas.

3.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente Capítulo tratou sobre possíveis implicações que a concentração de material particulado pudesse apresentar sobre a saúde da população de Manaus. Observou-se, inicialmente, que a faixa etária mais atingida por internações hospitalares decorrentes de problemas respiratórios foram as de até 1 ano e de 1 a 5 anos, e que o mês de maio foi o que apresentou a maior quantidade de internações.

Dentre os modelos estatísticos utilizados: modelo linear, modelo generalizado linear e modelo aditivo generalizado, este último, que utiliza variáveis de controle e curvas de suavização para determinar o efeito das variáveis preditoras sobre a quantidade de internamentos, que tem distribuição de Poisson, apresentou resultados mais consistentes. O primeiro modelo, que utilizou a concentração média mensal de material particulado PM_{2,5} na atmosfera de Manaus, não demonstrou associação com a quantidade de internamentos, nem pelo seu total, nem em qualquer uma das faixas etárias.

Esse resultado indica que os níveis de concentração de material particulado em Manaus ainda não estão em um nível suficientemente alto no sentido de provocar significativo número de internamentos. A incidência de internamentos por problemas respiratórios em Manaus pode estar mais fortemente relacionada às infecções por vírus do tipo Influenza, mais frequentes no período de chuvas na Região Amazônica. Ainda assim, caso as queimadas permaneçam em patamares elevados de ocorrência no Estado do Amazonas, o nível de poluição atmosférica por material particulado poderá causar sobrecarga no sistema de saúde em virtude do aumento de casos de problemas respiratórios também no segundo semestre do ano.

Essa constatação é reforçada pelos resultados do segundo modelo GAM, cujas variáveis preditoras adotadas foram: frota de veículos, geração de energia termelétrica, quantidade refinada de petróleo e quantidade de queimadas na Região Metropolitana de Manaus; o qual demonstrou-se significativo para todas as variáveis e com grau considerável de associação com o número de internamentos, sobretudo com o número de internamentos por problemas respiratórios de crianças até 1 ano.

A concentração de material particulado PM_{2,5} na atmosfera de Manaus está mais fortemente correlacionada à quantidade de queimadas na Região Metropolitana de Manaus do que às demais atividades antrópicas presentes no município, e que foram analisadas neste Capítulo. Ainda, foi constatado que embora a concentração do poluente ultrapassasse os padrões internacionais estabelecidos pela Organização Mundial de Saúde, os níveis de concentração de PM_{2,5} se mantiveram frequentemente dentro dos limites intermediários estabelecidos pela legislação nacional.

No entanto, a intensidade das atividades antrópicas analisadas, que emitem outros poluentes além do material particulado está, sim, associada aos registros de internamento por problemas respiratórios. Uma possível explicação é de que outro poluente, ou a associação de poluentes, possa ser parcialmente responsável por esse tipo de atendimento hospitalar. É importante, portanto, que seja aprimorada a rede de coleta e de monitoramento da concentração de poluentes em Manaus, seja por método automático, seja por meio de equipamentos portáteis, para que haja uma melhor compreensão das causas de problemas de saúde decorrentes de poluição atmosférica na capital amazonense, bem como sobre o efeito de fenômenos climáticos que podem agir no sentido de atrair e concentrar esses poluentes. A ausência de dados observacionais diários e regionalizados sobre os poluentes é um fator dificultador para o aprofundamento de pesquisas dessa natureza em Manaus.

Essa também é uma forma de o Estado do Amazonas atender ao que propugna a legislação brasileira vigente no que diz respeito ao dever de as Unidades da Federação

monitorarem a qualidade do ar em seus respectivos territórios. Assim, é possível estabelecer controles mais eficazes de emissão das fontes de poluentes localizadas não só em Manaus, mas em todo o Estado para, dessa forma, resguardar a saúde da população.

Além disso, sugere-se aprofundar a pesquisa no sentido de investigar se a concentração de algum poluente atmosférico proveniente de fonte antrópica pode estar associada ao grau de incidência de síndromes respiratórias agudas graves na cidade de Manaus, inclusive no período de pandemia da COVID-19 e, portanto, ao caso de infecções da doença. Outra forma de compreender melhor os efeitos da poluição sobre a saúde das pessoas, é o monitoramento contínuo da composição e do transporte e deposição da pluma de poluição proveniente de Manaus, bem como das possíveis implicações sobre a saúde da população de municípios vizinhos, especialmente de Iranduba e de Manacapuru.

REFERÊNCIAS

- AMAZONAS. Situação Epidemiológica da Síndrome Respiratória Aguda Grave no Estado do Amazonas. Fundação em Vigilância em Saúde do estado do Amazonas. **Boletim**. Ano 7, nº1, 2019.
- ANJOS, L. *et al.* O acesso geográfico aos serviços de saúde na Região Metropolitana de Manaus e o perfil da mortalidade. **Revista Geonorte**, V.9, N. 31, p.89-105, 2018.
- ANP. **Volume de petróleo refinado nas refinarias nacionais**. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/dados-estatisticos>>. Acesso em: 11/02/2020.
- BBC NEWS. 1952: **London fog clears after days of chaos**. Disponível em: http://news.bbc.co.uk/onthisday/hi/dates/stories/december/9/newsid_4506000/4506390.stm. Acessado em 15/2/2021.
- BONGONHA, V. *et al.* Taxa metabólica de repouso e composição corporal em mulheres na pós-menopausa. **Arq Bras Endocrinol Metab** vol.53 no.6: São Paulo, 2009.
- BRAGA, A. *et al.* P. **Poluição Atmosférica e Saúde Humana**. Revista USP, São Paulo, n.51, p. 58-71, setembro/novembro 2001.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **DATASus**. Acessado em 10/01/2020.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Cidades Sustentáveis: Qualidade do ar. Disponível em: <<https://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar>>. Acesso em: 03/12/2019.
- CARMO et al. Associação entre material particulado de queimadas e doenças respiratórias na região sul da Amazônia brasileira. **Revista Panam Salud Publica**. 2010.
- CIRINO, G. et al. Observations of Manaus urban plume evolution and interaction with biogenic emissions in GoAmazon 2014/5. **Atmospheric Environment**, 191 (2018) 513–524.
- CONAMA. Resolução nº 491, de 19 de novembro de 2018, do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA. **Dispõe sobre os padrões de qualidade do ar**. Publicado no Diário Oficial da União de 21/11/2018. IN: Brasília, 2018.
- CONCEIÇÃO, G. *et al.* Modelos MLG e MAG para análise da associação entre poluição atmosférica e marcadores de morbi-mortalidade: uma introdução baseada em dados da cidade de São Paulo. **Revista Brasileira de Epidemiologia**. Rev. bras. epidemiol. [online]. 2001, vol.4, n.3, pp.206-219. ISSN 1980-5497.
- DENATRAN. **Frota de Veículos**. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/conteudo-denatran/estatisticas-denatran>. Acessado em 5/4/2021.
- ELETROBRÁS. Geração termelétrica mensal por tipo de combustível. **Relatório**. Manaus, 2020.
- FEARNSIDE, P. Fogo e emissão de gases de efeito estufa dos ecossistemas florestais da

Amazônia brasileira. **Estudos Avançados**. vol.16 no.44 São Paulo Jan./Apr. 2002.

_____. Deforestation in Brazilian Amazonia: history, rates, and consequences. *Conservation Biology* 19(3): 680-688, 2005.

FERNANDES, E. **Estatística Aplicada**. Disponível em: <<http://www.norg.uminho.pt/emgpf/documentos/Aplicada.pdf>>. Acesso em; 19/12/2019.

FISH, G.; MARENGO, J.; NOBRE, C. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. **Revista Acta Amazônica**, 28 (2), 101-126, 1998.

INCA. Poluição do ar. Disponível em: <https://www.inca.gov.br/exposicao-no-trabalho-e-no-ambiente/poluente/poluicao-do-ar>. Acesso em: 20/02/2020.

INMET. **Banco de dados meteorológicos**. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/> Acessado em 16/12/2021.

INPE. **Monitoramento dos Focos Ativos por Estado**. <Disponível em: <http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal-static/estatisticas_estados/>. Acesso em: 11/02/2020.

_____. **Resumo do evento da tarde escura em São Paulo, 20/ago/2019, e sua relação com as nuvens das queimadas**. Disponível em: https://www.oeco.org.br/wp-content/uploads/2019/08/EventoNuvemEcuridaoFumaca_SaoPaulo_SP-1.pdf. Acesso em: 27/02/2020.

_____. **Poluentes e Saúde**. Disponível em: <http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/sisam/v2/>. Acessado em 10/01/2021.

IPEA. **ODS 11: tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis**. Brasília: IPEA, 2019 (Série Cadernos ODS).

INSTITUTO SAÚDE E SUSTENTABILIDADE. **Monitoramento de qualidade do ar no Brasil**. Instituto Saúde e Sustentabilidade. São Paulo, 2019.

KAZMIER, L. **Estatística aplicada à administração e economia**. Tradução Adriano Silva Vale Cardoso. 4 ed. Porto Alegre: Bookman, 2007.

LAKATOS, E.; MARCONI, M. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

LIMA, L. Modelos aditivos generalizados: aplicação a um estudo epidemiológico ambiental. **Dissertação de Mestrado**. Instituto de Matemática e Estatística da Universidade de São Paulo. USP: São Paulo, 2001.

MARTINS, L et al. Relação entre poluição atmosférica e atendimentos por infecção de vias aéreas superiores no município de São Paulo: avaliação do rodízio de veículos. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, vol 4, n.3. São Paulo, 2001.

MENDES, J.; SILVA, L. Determinação do índice de qualidade do ar numa cidade de média dimensão. in: 2º Congresso Luso Brasileiro para o Planejamento Urbano Regional Integrado e

Sustentável. **Anais...**Braga: Pluris, 2006.

MINAYO, M. Enfoque ecossistêmico de saúde e qualidade de vida. in: **Saúde e Ambiente Sustentável: estreitando nós.** MINAYO, M.; MIRANDA, A. (orgs). Rio de Janeiro: Fiocruz, 2002.

MINITAB, LLC (2019). **Análise de regressão:** Como interpretar o R-quadrado e avaliar a qualidade de ajuste? Disponível em: <https://blog.minitab.com/pt/analise-de-regressao-como-interpretar-o-r-quadrado-e-avaliar-a-qualidade-de-ajuste>. Acessado em 1º/3/2021.

MOYA J *et al.* Children's behavior and physiology and how it affects exposure to environmental contaminants. **Pediatrics**, 2004.

NAVARRO ET AL. Doenças emergentes e reemergentes, saúde e ambiente. in: **Saúde e Ambiente Sustentável: estreitando nós.** MINAYO, M.; MIRANDA, A. (orgs). Rio de Janeiro: Fiocruz, 2002.

OPAS. **Não polua o meu futuro!** O impacto do ambiente na saúde das crianças. Brasília: Organização Pan-Americana da Saúde; 2018.

R CORE TEAM (2020). **R: A language and environment for statistical computing.** R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

REIS, I. **GLM e GAM para aplicações em modelos de distribuição de espécies.** Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/referata/arq/10_Ilka/GLMeGAM_para_MDE%20_referata12.ppt.pdf. Acessado em 1º/3/2021.

RIBEIRO, H. Air pollution and respiratory diseases in children in São Paulo, Brazil. **Social Science & Medicine**. Vol. 29, n. 8, pp. 959-964, 1989.

SALDIVA, P. **Vida urbana e saúde: o desafio dos habitantes das metrópoles.** São Paulo: Contexto, 2018.

TADANO, Y. *et al.* Método de regressão de Poisson: metodologia para avaliação do impacto da atmosférica na saúde populacional. **Revista Ambiente e Sociedade**. v. XII, n. 2 p. 241-255. Campinas, jul.-dez., 2009.

TORRES, F. MACHADO, P. Introdução à climatologia. Ubá: Ed. Geographica, 2008.

UCLA. **What are pseudo r-squareds?** Disponível em: <https://stats.idre.ucla.edu/other/mult-pkg/faq/general/faq-what-are-pseudo-r-squareds/>. Acessado em 1º/3/2021.

WHO. **Ambientes saludables y prevención de enfermedades:** Hacia una estimación de la carga de morbilidad atribuible al medio ambiente. Disponível em: https://www.who.int/quantifying_ehimpacts/publications/PHE-prevention-diseases-infographic-ES.pdf?ua=1. Acessado em 16/2/2021.

_____. **Más del 90% de los niños del mundo respiran aire tóxico a diario.** Disponível em: <https://www.who.int/es/news/item/29-10-2018-more-than-90-of-the-world%E2%80%99s>

children-breathe-toxic-air-every-day. Acessado em 16/2/2021.

_____. **Poluição externa “outdoor”**. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/336956/WHO-HSE-PHE-AMR-09.01.02-por.pdf?sequence=5&isAllowed=y>. Acessado em 15/02/2020.

WOOD, S. **Generalized additive models: an introduction with R**. Chapman and Hall/CRC, New York, New York, USA, 2017.

WU, J. Who Gets to Breathe Clean Air in New Delhi? **New York Times Journal**. Publicado em 17/12/2020. Disponível em:

<https://www.nytimes.com/interactive/2020/12/17/world/asia/india-pollution-inequality.html?referringSource=articleShare>. Acessado em 16/2/2021.

ZUUR et al. **Mixed effects Models and extensions in ecology with R**. New York: Springer, 2009.

CONCLUSÕES GERAIS

Esta pesquisa investigou qual a participação da emissão de material particulado de cada uma das principais atividades econômicas da cidade de Manaus no período de 2014 a 2019 e, ainda, se houve relação entre a evolução das atividades antrópicas responsáveis pela emissão de material particulado e a saúde respiratória da população de Manaus no período de 2008 a 2019. Referidas atividades foram selecionadas a partir da literatura acerca do tema, dentre as quais encontram-se presentes na capital: a frota de veículos, o refino de petróleo, e a geração de energia termelétrica. Além disso, foi incluída a quantidade de queimadas na Região Metropolitana de Manaus nos modelos estatísticos, em virtude do grande poder de emissão de poluentes frutos desses episódios, e da grande possibilidade de dispersão de contaminantes atmosféricos em extensas áreas.

Manaus, uma metrópole no centro da Amazônia, adota o conjunto de ferramentas ofertadas pelo *mainstream* da Teoria Econômica – a Economia Neoclássica, por utilizar instrumentos da Economia ambiental para regular o comportamento dos agentes econômicos em seu território. Assim também o é em relação à regulação e controle dos níveis de qualidade do ar, no que diz respeito ao controle de emissões das atividades antrópicas presentes em seu território. É importante promover o debate acerca da conveniência e oportunidade de os entes governamentais incorporarem parâmetros de licença e funcionamento das atividades econômicas que estejam amparados pelos ditames da economia ecológica, a partir de ações baseadas no conceito de sustentabilidade forte, ou seja, compatíveis com os limites do ambiente natural e de seus recursos.

Relativamente, ao inventário de emissão, observou-se que a geração de energia termelétrica foi a atividade que apresentou maior emissão de material particulado até o ano de 2018, resultado fruto da utilização representativa de óleo diesel no processo de geração até aquele momento. Contudo, a partir do ano de 2015 houve um processo de reversão dessa condição, em virtude do início e intensificação do uso do gás natural no processo de geração de energia termelétrica na capital.

No ano de 2019, foi a frota de veículos a maior fonte de emissão de material particulado na cidade, uma realidade muito parecida com o que ocorre em grandes cidades do Brasil e do mundo. O cenário atual de Manaus está relacionado com a utilização preponderante de gasolina como combustível automotivo, mais poluente do que o etanol, e também pela idade média ponderada da frota, por tipo de veículo.

No que concerne à construção dos modelos que buscaram associações entre poluição atmosférica e internamentos hospitalares relacionados a doenças respiratórias, o primeiro modelo, que utilizou a concentração média mensal de material particulado PM_{2,5} na atmosfera de Manaus não demonstrou influência significativa com a quantidade de internamentos, nem pelo seu total, nem em qualquer uma das faixas etárias. A incidência de internamentos por problemas respiratórios em Manaus pareceu estar mais fortemente relacionada às infecções por vírus do tipo Influenza, mais frequentes no período de chuvas na Região Amazônica.

Salientou-se que a concentração de material particulado PM_{2,5} na atmosfera de Manaus está correlacionada de forma mais intensa à quantidade de queimadas na Região Metropolitana de Manaus do que às demais atividades antrópicas presentes no município. Também, foi constatado que embora a concentração do poluente ultrapassasse os padrões internacionais estabelecidos pela Organização Mundial de Saúde, os níveis de concentração de PM_{2,5} no período de 2008 a 2019 se mantiveram frequentemente dentro dos limites intermediários estabelecidos pela legislação nacional. Ainda assim, caso as queimadas permaneçam em patamares elevados de ocorrência no Estado do Amazonas, o nível de poluição atmosférica por material particulado poderá causar sobrecarga no sistema de saúde em virtude do aumento de casos de problemas respiratórios também no segundo semestre do ano.

O segundo modelo, que investigou a possível relação entre a quantidade de veículos, a quantidade da geração de energia termelétrica, a quantidade refinada de petróleo, a quantidade de queimadas na Região Metropolitana de Manaus e a concentração média mensal de material particulado PM_{2,5}; demonstrou-se significativo para todas as variáveis e com grau considerável de associação com o número de internamentos, sobretudo com o número de internamentos por problemas respiratórios de crianças até 1 ano.

Ressalva-se que alguns componentes da base de dados podem representar uma fragilidade aos resultados aqui apresentados. Em relação ao inventário de material particulado, foi necessária a realização de estimativas da idade da frota, da participação de uso de cada combustível, além da aplicação de parâmetros de intensidade de uso e de fatores de emissão previamente definidos, pela ausência dessas informações locais, que poderiam ser compiladas e elaboradas a partir da divulgação dos dados das vistorias ambientais de veículos realizadas em Manaus.

Com relação à concentração de poluentes na atmosfera, considera-se que o monitoramento contínuo e setorizado por regiões sob influência mais direta das fontes de poluição, retrataria de forma mais assertiva seus efeitos sobre a saúde da população de Manaus. Por fim, o acompanhamento constante da composição da pluma de poluentes com origem nas

fontes de Manaus, sua composição física e química, bem como o modo e o local de deposição de seus componentes, e o aprofundamento da análise dos fatores climáticos decorrentes das características urbanas também representariam um avanço nos estudos de saúde ambiental no Estado do Amazonas.

ANEXOS

ANEXO I – Fatores de Conversão

Múltiplos de unidades de energia						
	x10³	x10⁶	x10⁹	x10¹²	x10¹⁵	x10¹⁸
joule	kJ	MJ	GJ	TJ	PJ	EJ
British Thermal Unit (Btu)	kBtu	MBtu	GBtu	TBtu	PBtu	EBtu
caloria (cal)	kcal	Mcal	Gcal	Tcal	Pcal	Ecal
tonelada equivalente de petróleo (tep)	ktep	Mtep	Gtep	Ttep	Ptep	Etep
watt-hora (Wh)	kWh	MWh	GWh	TWh	PWh	EWh

Relações entre unidades		
Exponenciais	Equivalências	Relações Práticas
{k} kilo = 10 ³	1 m ³ = 6,28981 barris	
{M} mega = 10 ⁶	1 barril = 0,158987 m ³	1 tep ano = 7,2 bep ano
{G} giga = 10 ⁹	1 joule = 0,239 cal	1 bep ano = 0,14 tep ano
{T} tera = 10 ¹²	1 Btu = 252 cal	1 tep ano = 0,02 bep dia
{P} peta = 10 ¹⁵	1 m ³ de petróleo = 0,872 t (em 1994)	1 bep dia = 50 tep ano
{E} exa = 10 ¹⁸	1 tep = 10.000 Mcal	

Fatores de conversão para massa					
de » para	Multiplicar por				
	kg	t	tl	tc	lb
quilograma (kg)	1,0	0,001	0,000984	0,001102	2,2046
tonelada métrica (t)	1.000,0	1,0	0,984	1,1023	2.204,6
tonelada longa (tl)	1.016,0	1,016	1,0	1,120	2.240,0
tonelada curta (tc)	907,2	0,9072	0,893	1,0	2.000,0
libra (lb)	0,454	0,000454	0,000446	0,0005	1,0

Fatores de conversão para volume						
de » para	Multiplicar por					
	m³	L	gal (EUA)	gal (RU)	bbbl	pé³
metro cúbico (m ³)	1,0	1.000,0	264,2	220,0	6,289	35,3147
litro (L)	0,001	1,0	0,2642	0,22	0,0063	0,0353
galão (EUA)	0,0038	3,785	1,0	0,8327	0,02381	0,1337
galão (RU)	0,0045	4,546	1,201	1,0	0,02859	0,1605
barril (bbbl)	0,159	159,0	42,0	34,97	1,0	5,615
pé cúbico (pé ³)	0,0283	28,3	7,48	6,229	0,1781	1,0

Fatores de conversão para energia					
de » para	Multiplicar por				
	J	Btu	cal	kWh	tep
joule (J)	1,0	947,8 x 10 ⁻⁴	0,23884	277,7 x 10 ⁻⁴	2,388 x 10 ⁻¹¹
British Thermal Unit (Btu)	1,055 x 10 ³	1,0	252,0	293,07 x 10 ⁻⁴	2,52 x 10 ⁻⁹
caloria (cal)	4,1868	3,968 x 10 ⁻³	1,0	1,163 x 10 ⁻⁴	10 ⁻¹⁰
quilowatt-hora (kWh)	3,6 x 10 ⁶	3.412,0	860,0 x 10 ³	1,0	8,6 x 10 ⁻⁵
tonelada equivalente de petróleo (tep)	41,87 x 10 ⁹	39,68 x 10 ⁶	10,0 x 10 ³	11,63 x 10 ³	1,0

Fonte: Balanço Energético Nacional, 2013

ANEXO II – Intensidade de Uso (Km/Ano)

Anos de uso	Automóveis Gasolina	Automóveis Etanol	Automóveis Flex-fuel	Comerciais leves Gasolina	Comerciais Leves Etanol	Comerciais Leves flex-fuel	Comerciais Leves Diesel	Motocicletas	Ônibus Urbanos	Micro-Ônibus	Ônibus Rodoviários	Caminhões Semileves	Caminhões Leves	Caminhões Médios	Caminhões Semi-pesados	Caminhões Pesados
0	5.998	Nd	8.610	8.966	nd	9.110	14.221	6.403	31.235	17.789	31.235	20.542	20.542	20.542	28.112	28.112
1	11.997	Nd	17.220	17.933	nd	18.220	28.443	12.807	62.470	35.578	62.470	41.083	41.083	41.083	56.223	56.223
2	12.632	Nd	15.968	17.638	nd	21.110	27.358	13.078	58.979	31.654	58.979	38.117	38.117	38.117	55.200	55.200
3	13.177	Nd	15.277	17.320	nd	21.914	26.321	13.243	55.908	29.359	55.908	35.564	35.564	35.564	54.176	54.176
4	13.635	Nd	15.001	16.981	nd	21.277	25.270	13.313	53.205	27.730	53.205	33.386	33.386	33.386	53.152	53.152
5	14.009	Nd	14.995	16.623	nd	19.843	24.142	13.293	50.816	26.467	50.816	31.543	31.543	31.543	52.129	52.129
6	14.305	Nd	15.112	16.248	nd	18.255	22.874	13.192	48.689	25.435	48.689	30.002	30.002	30.002	51.105	51.105
7	14.525	18.691	15.208	15.858	15.858	17.160	21.406	13.019	46.769	24.562	46.769	28.726	28.726	28.726	50.081	50.081
8	14.675	17.456	15.136	15.456	15.456	16.102	19.673	12.781	45.004	23.806	45.004	27.684	27.684	27.684	49.057	49.057
9	14.758	16.431	14.750	15.044	15.044	15.044	17.614	12.486	43.341	23.140	43.341	26.846	26.846	26.846	48.034	48.034
10	14.778	15.596	14.744	14.624	14.624	14.624	15.950	12.142	41.727	22.543	41.727	26.182	26.182	26.182	47.010	47.010
11	14.739	14.933	14.739	14.198	14.198	14.198	15.950	11.758	40.108	22.004	40.108	25.666	25.666	25.666	45.986	45.986
12	14.645	14.421	14.645	13.768	13.768	13.767	15.950	11.341	38.432	21.511	38.432	25.274	25.274	25.274	44.963	44.963
13	14.500	14.040	14.500	13.336	13.336	13.336	15.950	10.900	36.644	21.058	36.644	24.982	24.982	24.982	43.939	43.939
14	14.309	13.771	14.309	12.905	12.905	12.905	15.950	10.442	34.693	20.638	34.693	24.768	24.768	24.768	42.915	42.915
15	14.075	13.595	14.075	12.477	12.477	12.476	15.950	9.976	32.525	18.680	32.525	24.615	24.615	24.615	41.892	41.892
16	13.803	13.490	13.803	12.054	12.054	12.053	15.950	9.509	30.709	18.680	30.709	24.504	24.504	24.504	40.868	40.868
17	13.495	13.438	13.495	11.638	11.638	11.636	15.950	9.050	29.329	18.680	29.329	24.420	24.420	24.420	39.844	39.844
18	13.157	13.419	13.157	11.231	11.231	11.229	15.950	9.050	28.010	18.680	28.010	24.348	24.348	24.348	38.820	38.820
19	12.793	13.412	12.793	10.835	10.835	10.834	15.950	9.050	26.751	18.680	26.751	24.278	24.278	24.278	37.797	37.797
20	12.406	13.399	12.406	10.454	10.454	10.452	15.950	9.050	25.548	18.680	25.548	24.199	24.199	24.199	36.773	36.773
21	12.000	13.360	12.000	10.088	10.088	10.086	15.950	9.050	24.400	18.680	24.400	24.103	24.103	24.103	35.749	35.749
22	11.580	13.274	11.580	9.740	9.740	9.737	15.950	9.050	23.303	18.680	23.303	23.984	23.984	23.984	34.726	34.726
23	11.149	13.123	11.149	9.412	9.412	9.409	15.950	9.050	22.255	18.680	22.255	23.837	23.837	23.837	33.702	33.702
24	10.712	12.886	10.712	9.107	9.107	9.103	15.950	9.050	21.255	18.680	21.255	23.660	23.660	23.660	32.678	32.678

25	10.273	12.543	10.273	8.826	8.826	8.822	15.950	9.050	20.299	18.680	20.299	23.452	23.452	23.452	31.655	31.655
26	9.835	12.076	9.835	8.572	8.572	8.567	15.950	9.050	19.386	18.680	19.386	23.214	23.214	23.214	30.631	30.631
27	9.402	11.463	9.402	8.347	8.347	8.341	15.950	9.050	18.515	18.680	18.515	22.949	22.949	22.949	29.607	29.607
28	8.980	10.686	8.980	8.152	8.152	8.146	15.950	9.050	17.682	18.680	17.682	22.662	22.662	22.662	28.583	28.583
29	8.571	9.724	8.571	7.991	7.991	7.984	15.950	9.050	16.887	18.680	16.887	22.360	22.360	22.360	27.560	27.560
30	8.180	8.275	8.180	7.866	7.866	7.858	15.950	9.050	16.128	18.680	16.128	22.051	22.051	22.051	26.536	26.536
31	7.810	8.275	7.810	7.862	7.862	7.862	15.950	9.050	15.403	18.680	15.403	21.745	21.745	21.745	25.512	25.512
32	7.467	8.275	7.467	7.862	7.862	7.862	15.950	9.050	14.711	18.680	14.711	21.456	21.456	21.456	24.489	24.489
33	7.153	8.275	7.153	7.862	7.862	7.862	15.950	9.050	14.049	18.680	14.049	21.197	21.197	21.197	23.465	23.465
34	6.873	8.275	6.873	7.862	7.862	7.862	15.950	9.050	13.418	18.680	13.418	20.984	20.984	20.984	22.441	22.441
35	6.631	8.275	6.631	7.862	7.862	7.862	15.950	9.050	12.814	18.680	12.814	20.835	20.835	20.835	21.418	21.418
36	6.430	8.275	6.430	7.862	7.862	7.862	15.950		12.238	18.680	12.238	20.769	20.769	20.769	20.394	20.394
37	6.276	8.275	6.276	7.862	7.862	7.862	15.950		11.688	18.680	11.688	20.809	20.809	20.809	19.370	19.370
38	6.172	8.275	6.172	7.862	7.862	7.862	15.950		11.163	18.680	11.163	20.978	20.978	20.978	18.346	18.346
39	6.174	8.275	6.174	7.862	7.862	7.862	15.950		10.661	18.680	10.661	21.804	21.804	21.804	17.323	17.323
40	6.174	8.275	6.174	7.862	7.862	7.862	15.950		10.181	18.680	10.181	21.804	21.804	21.804	16.299	16.299

Fonte: CETESB, 2019

APÊNDICES

APÊNDICE A – Base de Dados Modelos de Regressão

Ano	Mês	N.Frota	Energia (kwh)	Refino (m ³)	Queimadas	Chuva (mm)	Temp. Média (°C)	UR (%)	PM2,5 (µm/m ³)	TOTAL INTERNA MENTOS	Até.1.AN O	1a4 Anos	5a9 Anos	10a14 Anos	15a19 Anos	20a29 Anos	30a39 Anos	40a49 Anos	50a59 Anos	60a69 Anos	70a79 Anos	80.anos MAIS
2008	jan	335830	321759,463	193.265	28	397,40	25,90	89,12	16,44	535	88	162	40	18	11	35	22	36	30	33	43	17
2008	fev	335830	334546,705	191.502	35	298,80	25,92	89,60	18,06	643	119	214	57	23	19	19	32	21	38	29	38	34
2008	mar	341980	340830,317	218.170	2	553,00	25,39	90,64	16,88	687	143	225	65	21	14	34	23	41	33	29	33	26
2008	abr	345276	327433,48	197.749	7	345,40	26,38	87,66	15,43	536	115	151	40	11	9	42	32	35	23	29	27	22
2008	mai	348456	337786,872	195.531	4	264,10	26,05	88,72	13,71	713	205	165	33	11	12	52	35	42	28	47	49	34
2008	jun	351964	329129,011	193.342	7	202,70	26,36	85,95	14,62	719	224	166	44	19	9	24	25	46	35	42	40	45
2008	jul	355752	374291,012	197.275	53	80,20	27,28	81,59	15,97	695	210	171	46	17	12	29	32	34	46	43	36	19
2008	ago	359144	417035,996	211.636	144	58,40	27,91	81,35	20,56	640	158	180	44	21	8	37	33	26	25	27	39	42
2008	set	362709	414046,237	203.552	127	56,00	27,67	82,32	17,28	606	126	182	43	15	17	44	22	26	34	29	33	35
2008	out	365551	417521,971	192.177	233	162,20	27,49	88,64	23,75	520	110	144	38	13	14	22	22	24	40	32	34	27
2008	nov	367786	379504,277	193.985	197	280,80	27,13	89,50	25,36	523	99	160	45	21	17	35	25	25	25	32	21	18
2008	dez	370093	325379,831	200.697	36	458,10	26,61	86,83	14,16	411	57	118	46	15	12	29	14	21	18	31	23	27
2009	jan	372189	324145,196	175.943	14	310,80	25,84	90,73	13,13	389	63	95	16	17	15	35	16	14	28	29	32	29
2009	fev	374621	294594,084	175.185	3	457,90	25,93	88,33	10,91	524	119	160	45	20	10	22	21	18	28	27	32	22
2009	mar	378489	344820,9954	198.260	18	232,50	26,29	87,20	14,81	954	311	330	98	30	11	26	23	27	33	20	23	22
2009	abr	381236	340225,2818	189.150	9	222,10	26,71	86,78	15,16	1.135	391	394	103	39	17	24	19	27	32	29	33	27
2009	mai	383933	351380,6737	198.408	8	114,00	26,51	87,19	18,20	1.040	313	359	97	42	17	25	39	27	28	30	35	28
2009	jun	387217	344604,1521	193.835	20	165,80	26,62	86,51	11,21	876	220	306	108	36	21	27	26	24	25	22	31	30
2009	jul	390527	399453,838	201.539	99	25,10	27,75	79,86	12,68	842	159	295	99	45	17	36	26	27	26	42	36	34
2009	ago	393523	453776,5886	211.925	480	5,40	29,27	72,83	18,54	941	194	333	104	44	24	36	22	37	37	37	46	27
2009	set	397136	501949,597	200.283	1206	4,20	29,91	69,33	41,43	746	173	214	80	33	13	32	30	37	32	30	35	37
2009	out	400615	0	211.014	1318	26,00	29,70	70,78	50,17	710	147	176	86	32	14	42	27	40	38	26	44	38
2009	nov	404197	0	207.710	564	132,30	30,18	69,83	41,03	783	126	241	94	40	28	46	37	39	36	31	30	35
2009	dez	407873	325379,831	213.322	100	262,40	27,67	82,36	16,98	679	123	173	69	24	16	45	33	38	31	41	56	30
2010	jan	410365	438831,2556	211.273	36	295,80	27,33	83,78	13,79	590	117	163	48	30	12	41	24	24	27	27	44	33

2010	fev	413299	409092,329	151.464	9	352,50	27,30	87,19	14,26	688	135	231	81	43	12	27	31	20	27	29	34	18
2010	mar	418516	522307,4898	205.430	22	206,40	28,43	80,69	15,25	1.105	240	465	141	39	17	26	30	34	20	26	31	36
2010	abr	422039	462658,0772	212.162	3	303,40	27,05	87,31	13,21	1.402	479	555	122	46	15	27	22	28	19	29	22	38
2010	mai	425485	501037,3552	218.482	10	165,10	27,66	84,42	11,83	1.610	653	526	117	27	17	46	28	29	39	44	42	42
2010	jun	428601	483948,185	212.273	28	119,10	27,54	82,59	11,19	1.313	533	392	93	31	19	42	29	25	40	33	30	46
2010	jul	432154	477630,3092	222.580	56	100,60	27,22	81,77	16,19	927	247	299	91	31	21	35	33	29	42	34	38	27
2010	ago	436091	479137,98	223.216	291	54,80	28,39	75,53	25,05	732	138	266	77	25	16	25	21	30	27	24	44	39
2010	set	439995	478953,6498	194.970	703	26,60	29,50	72,40	36,43	686	129	217	82	34	19	30	21	22	29	28	47	28
2010	out	443388	474854,684	194.285	617	116,90	28,86	75,46	23,55	810	159	281	98	41	17	41	27	23	32	31	35	25
2010	nov	447643	458549,704	183.996	128	140,60	28,04	78,97	15,78	690	130	235	73	34	15	15	25	25	22	33	43	40
2010	dez	452300	434930,334	216.036	42	290,10	26,99	83,87	16,22	739	134	225	92	30	8	36	30	29	29	36	45	45
2011	jan	454515	410914,4866	221.359	16	226,80	26,44	84,61	13,56	706	161	193	61	31	12	25	21	27	29	32	57	57
2011	fev	457693	395376,2478	200.478	16	493,30	26,18	84,98	9,29	564	93	176	60	39	11	27	15	13	26	35	29	40
2011	mar	461596	415885,4484	193.219	22	323,30	26,61	84,14	15,95	1.066	237	392	122	47	25	26	23	34	23	35	49	53
2011	abr	464954	402422,9256	200.053	10	515,90	26,61	84,43	16,99	1.317	453	488	84	48	10	26	30	28	29	34	44	43
2011	mai	469215	383877,1347	202.244	7	222,40	27,19	82,60	13,78	1.585	629	595	93	39	11	28	32	18	24	31	44	41
2011	jun	473477	436032,9376	198.380	26	121,30	28,19	75,98	13,04	1.329	506	437	80	35	25	32	30	33	31	33	49	38
2011	jul	477375	476888,0342	203.734	73	20,20	28,82	68,32	13,19	837	243	276	65	20	14	19	33	19	26	44	38	40
2011	ago	481624	432100,34	220.006	253	64,30	29,58	64,74	14,58	714	166	244	72	32	15	17	32	16	18	24	48	30
2011	set	485493	478726,85	195.878	352	41,50	29,11	69,91	21,21	720	123	230	78	34	13	38	29	31	31	33	39	41
2011	out	488454	482432,3933	228.150	443	283,70	28,51	75,22	19,23	844	161	313	91	26	22	33	28	27	27	34	37	45
2011	nov	492237	465819,89	209.084	269	272,80	27,99	78,23	20,77	908	195	287	96	47	21	35	35	25	31	37	45	54
2011	dez	496916	462331,659	202.715	85	194,50	27,95	79,34	19,92	721	179	249	82	33	18	23	21	18	16	28	33	21
2012	jan	499515	403571,1637	181.722	17	365,20	26,34	85,00	16,62	711	205	234	67	38	18	25	21	13	21	26	18	25
2012	fev	502123	365994,7434	171.422	23	288,70	26,05	85,99	12,81	952	286	349	104	67	15	26	15	14	12	24	18	22
2012	mar	505879	393252,027	187.170	31	277,40	26,58	83,96	17,89	1.627	519	563	120	46	22	43	42	39	46	59	59	69
2012	abr	508553	411302,3923	172.155	16	195,60	27,15	82,20	15,04	1.643	594	486	146	40	23	42	27	38	46	58	67	76
2012	mai	512193	428319,5437	181.192	57	167,80	27,58	79,16	14,68	1.368	489	409	135	45	21	26	41	27	45	36	45	49
2012	jun	515765	395359,673	184.591	146	85,40	28,11	74,76	11,12	1.002	267	321	85	44	10	38	40	19	45	41	52	40
2012	jul	519658	438028,3345	36.056	253	83,00	27,71	75,96	13,10	889	227	256	87	41	19	34	38	31	27	46	39	44
2012	ago	524338	484049,8754	195.155	953	26,60	28,78	70,47	23,88	937	201	318	118	44	18	27	28	24	38	33	40	48

2012	set	527535	468427,6289	206.766	1721	90,30	29,05	72,32	24,68	762	185	231	96	36	12	25	20	22	23	30	41	41
2012	out	531103	503160,5555	191.678	3535	181,30	29,21	72,65	34,76	946	229	320	115	42	11	28	26	22	32	41	46	34
2012	nov	534516	490866,8517	182.489	2558	284,50	29,09	75,08	31,62	829	198	237	78	37	17	29	27	25	33	40	60	48
2012	dez	538517	446731,5153	210.364	237	266,20	27,06	82,22	16,62	665	179	179	70	33	6	18	31	17	26	35	37	34
2013	jan	541337	500924,3384	204.324	131	314,60	27,34	83,52	15,17	893	299	271	67	32	5	22	21	21	34	41	43	37
2013	fev	544027	419336,9043	180.916	11	342,10	26,49	85,96	12,36	1.109	435	356	62	31	9	20	30	25	25	38	44	34
2013	mar	546969	481929,5508	196.496	96	427,40	26,77	86,83	13,96	1.474	580	431	99	37	11	28	26	41	36	61	57	67
2013	abr	551455	484699,4449	179.123	59	420,60	27,29	83,09	12,43	1.095	355	324	106	43	18	23	25	15	39	46	53	48
2013	mai	555081	496716,6372	174.757	95	238,40	27,24	83,27	12,06	1.096	288	369	122	50	24	28	29	24	36	34	46	46
2013	jun	558561	506693,6788	186.794	247	32,30	28,45	75,46	11,57	1.040	267	390	116	46	17	29	24	22	30	32	28	39
2013	jul	562332	503385,3545	182.626	527	167,10	27,41	76,59	13,32	1.095	330	456	109	31	12	24	19	16	20	25	26	27
2013	ago	565708	445790,7181	172.931	1077	53,00	28,18	73,21	13,99	981	304	307	120	51	20	22	26	15	25	21	32	38
2013	set	568611	493868,0334	172.731	1771	121,00	28,77	73,10	16,64	963	259	327	98	40	20	20	35	22	34	32	43	33
2013	out	573020	526819,5184	187.721	2262	193,00	29,17	71,43	28,07	878	216	301	97	33	10	22	28	29	28	37	49	28
2013	nov	576485	477376,7246	207.917	453	312,20	27,26	82,73	18,63	698	202	198	68	33	10	24	20	27	24	25	33	34
2013	dez	581179	499077,1388	210.771	755	101,30	28,47	76,79	17,23	735	152	230	92	26	13	13	30	25	33	27	46	48
2014	jan	584636	560470,0837	208.223	237	253,30	27,46	80,27	12,84	614	150	198	46	26	12	14	28	16	27	36	34	27
2014	fev	587382	523509,0922	185.667	18	245,40	26,50	85,79	12,74	557	119	208	58	19	16	8	18	15	11	27	30	28
2014	mar	590157	525470,538	202.702	48	527,70	26,87	85,03	20,48	751	165	258	107	43	9	20	24	23	17	32	28	25
2014	abr	593437	533381,4217	206.044	26	260,30	27,39	82,56	14,45	992	226	340	86	39	14	35	39	23	42	45	50	53
2014	mai	596702	514988,283	203.110	43	411,30	27,27	83,60	12,10	1.052	345	369	79	35	10	18	29	29	20	27	44	47
2014	jun	599563	566353,2159	210.370	105	211,70	28,02	78,44	13,82	1.212	499	410	90	24	11	21	20	15	18	42	31	31
2014	jul	603492	593810,3571	206.442	206	66,10	27,80	76,25	12,04	1.110	423	352	84	38	12	20	25	23	22	35	42	34
2014	ago	606607	525765,9772	189.982	1047	32,20	28,84	70,40	22,63	1.160	324	417	109	77	14	31	29	26	13	44	38	38
2014	set	610133	554512,4363	188.788	3275	0,60	30,16	63,32	28,77	1.025	286	313	109	40	18	27	20	38	37	40	50	47
2014	out	613455	570197,3156	205.281	1464	190,90	28,01	77,27	21,92	1.051	270	356	124	50	18	29	25	26	35	33	41	44
2014	nov	616992	521894,798	203.821	1083	196,00	28,36	77,05	26,89	870	216	278	96	37	14	24	22	27	30	44	45	37
2014	dez	622675	502307,4874	185.425	545	173,80	28,10	80,25	18,91	689	160	198	71	33	9	21	21	24	30	34	50	38
2015	jan	625814	416230,4418	168.242	75	303,70	26,81	82,81	18,81	734	159	210	56	27	12	28	34	23	39	39	61	46
2015	fev	628323	384771,2596	167.648	172	214,00	27,52	79,86	13,07	765	184	209	90	29	14	20	26	30	33	38	51	41
2015	mar	631271	415142,5475	183.828	38	373,70	26,81	85,10	15,97	1.189	330	397	117	44	19	30	26	25	39	51	59	52

2015	abr	634259	409244,159	180.270	68	165,50	27,48	81,83	17,40	1.276	493	397	62	24	17	32	33	30	39	61	47	41
2015	mai	636548	413196,0662	179.404	29	280,80	27,32	83,44	13,61	1.262	482	334	77	31	14	23	23	31	43	61	67	76
2015	jun	638918	388330,1361	180.875	100	83,90	28,11	77,43	12,02	1.078	343	321	72	27	12	34	17	32	34	49	71	66
2015	jul	641431	384332,0453	176.814	309	47,30	28,42	74,34	10,63	898	249	243	10 5	29	15	28	15	21	35	55	44	59
2015	ago	643325	369585,472	163.305	1320	10,70	30,15	68,90	17,06	768	181	220	85	32	16	31	20	29	24	39	49	42
2015	set	645220	348593,2572	172.629	9331	15,80	31,64	63,89	40,04	637	140	159	60	28	19	25	18	19	39	39	39	52
2015	out	646957	348830,4096	165.458	8172	31,30	30,82	62,56	57,71	738	180	205	66	27	10	27	27	24	30	38	48	56
2015	nov	648844	334304,8965	150.167	1910	91,30	29,79	68,30	38,16	713	155	207	63	29	11	32	18	16	35	43	48	56
2015	dez	650650	348808,2677	151.881	1092	154,20	29,43	72,25	44,61	674	140	192	59	31	18	14	23	26	35	38	39	59
2016	jan	652548	364063,0992	161.925	1114	129,60	29,61	71,53	26,02	612	162	122	35	29	13	23	25	28	38	48	42	47
2016	fev	654127	313408,4	147.539	127	235,30	28,15	79,55	20,52	531	92	152	66	29	7	17	23	24	30	33	39	19
2016	mar	656205	330736,9897	158.915	52	281,90	27,89	82,35	18,01	890	131	283	13 1	50	20	19	30	24	33	54	54	61
2016	abr	657733	320979,8378	136.334	43	303,90	27,77	81,73	16,15	1.090	189	436	13 4	48	17	33	24	31	38	46	45	49
2016	mai	659467	363032,7845	156.544	74	108,40	28,20	79,73	13,16	1.318	440	442	87	35	20	30	22	31	39	52	49	71
2016	jun	661256	270603,3846	152.730	173	92,10	28,10	74,93	13,59	1.355	486	423	87	36	18	36	37	27	38	58	56	53
2016	jul	662366	305132,1168	154.807	549	103,20	28,73	68,75	13,47	869	266	250	79	21	20	27	23	27	24	45	42	45
2016	ago	663881	328018,1956	147.835	1159	49,80	29,41	66,05	20,61	681	141	179	69	34	16	21	18	28	34	36	48	57
2016	set	665051	296473,7149	146.625	777	112,00	28,49	74,08	17,14	588	127	176	53	19	10	24	25	14	24	43	33	40
2016	out	665963	262785,4327	159.945	2387	152,20	29,53	70,35	27,96	772	180	252	71	34	7	27	19	27	28	42	49	36
2016	nov	667431	269586,3878	146.709	971	193,70	29,19	71,87	21,93	667	146	185	65	26	12	19	20	30	36	41	41	46
2016	dez	668749	276665,5553	133.662	140	518,80	27,10	83,77	18,63	684	142	198	53	38	17	21	23	24	31	42	41	54
2017	jan	670175	283942,7844	142.518	145	402,10	26,87	81,94	14,71	678	125	161	47	32	23	32	28	19	43	47	58	63
2017	fev	671413	262139,6823	123.063	57	257,40	26,79	82,66	14,08	712	94	164	58	32	20	26	19	23	46	67	72	91
2017	mar	673288	252177,4108	129.565	50	270,00	27,02	83,16	14,71	1.033	217	349	10 7	53	25	30	16	27	36	50	53	70
2017	abr	674652	288132,4268	142.222	20	338,40	27,23	83,53	19,48	1.392	474	455	11 7	43	17	22	28	22	56	48	55	55
2017	mai	676268	346465,3442	146.128	81	135,80	28,41	77,53	12,94	1.508	588	448	99	26	20	32	31	24	50	58	60	72
2017	jun	678287	359515,3601	138.996	167	126,50	28,39	75,77	13,91	1.101	376	347	62	33	19	33	22	25	30	47	40	67
2017	jul	679496	390060,6628	140.950	756	75,70	28,26	69,29	14,93	779	194	218	70	25	16	24	33	18	33	42	54	52
2017	ago	682013	343067,0017	136.028	2115	20,10	30,11	63,28	23,60	776	170	218	95	34	20	26	21	27	37	48	34	46
2017	set	683570	352313,2245	149.101	1379	166,40	28,87	73,66	27,99	600	126	181	43	28	13	17	21	16	18	42	46	49
2017	out	686314	489013,7902	147.619	2197	148,10	28,65	74,19	23,33	605	131	155	51	27	21	22	15	21	31	42	42	47

2017	nov	688058	516582,1672	145.209	736	195,70	28,57	77,48	31,96	631	123	154	61	28	12	22	25	17	31	41	47	70
2017	dez	689937	465654,3808	132.484	374	512,80	27,23	84,15	22,08	677	135	168	65	29	13	23	20	27	41	57	40	59
2018	jan	691976	427862,5535	149.903	68	215,30	26,83	83,35	12,23	669	128	179	49	27	10	26	28	35	39	46	56	46
2018	fev	693823	398212,0281	128.734	216	331,40	27,17	79,63	10,39	762	115	211	96	43	18	19	25	26	29	67	55	58
2018	mar	695973	429847,8493	157.724	67	242,90	27,60	80,54	13,36	923	173	294	134	39	21	27	21	27	37	41	53	56
2018	abr	698549	410357,9237	159.612	30	280,80	26,90	84,00	14,02	1.009	231	305	97	40	20	27	21	20	41	54	71	82
2018	mai	701407	462720,451	160.617	22	179,40	27,06	83,65	9,58	1.276	361	385	105	41	21	30	22	42	40	81	80	68
2018	jun	703390	442021,5223	175.226	140	188,60	27,73	75,40	13,29	1.209	446	340	81	30	13	20	29	27	39	58	69	57
2018	jul	705296	550097,4362	154.620	361	54,10	28,29	70,87	19,92	926	306	236	46	20	25	32	21	26	35	54	70	55
2018	ago	708221	753688,2983	2.969	808	19,50	29,00	68,32	19,75	818	213	194	77	24	13	33	23	32	48	49	55	57
2018	set	710373	641586,9835	108.959	2821	80,80	29,65	67,32	33,26	728	187	170	68	20	18	30	20	29	31	46	48	61
2018	out	712983	609854,6715	177.942	7051	56,70	30,47	65,44	53,79	703	154	158	61	27	12	29	28	32	36	55	47	64
2018	nov	715758	512016,8532	173.013	1119	148,40	28,76	76,17	34,10	576	97	125	38	21	16	30	34	31	32	51	51	50
2018	dez	718205	478464,6644	159.036	96	349,70	26,56	83,90	14,87	628	104	127	61	32	11	28	32	28	38	51	67	49
2019	jan	720569	571812,5789	153.835	264	277,40	27,04	86,16	13,67	616	129	141	50	20	17	28	26	40	29	56	37	43
2019	fev	722857	481075,3653	144.700	63	373,90	27,01	88,56	16,78	1.023	272	273	89	30	8	40	30	34	59	56	69	63
2019	mar	725138	534133,5371	161.714	388	377,50	28,01	83,90	25,53	1.495	546	390	112	46	20	47	46	58	44	55	60	71
2019	abr	728128	516979,5926	149.123	52	273,60	27,46	82,77	14,44	1.081	369	294	58	27	31	25	34	36	36	46	61	64
2019	mai	731377	538679,4472	156.217	46	313,40	27,40	82,54	16,11	791	212	213	75	27	20	31	19	19	32	42	50	51
2019	jun	734092	536824,9204	147.524	97	57,10	28,09	75,60	18,44	798	183	265	69	23	12	20	20	27	34	44	46	55
2019	jul	737316	633739,9002	153.828	521	123,30	28,40	70,96	14,06	753	167	214	56	29	12	38	27	27	35	58	46	44
2019	ago	740505	684420,4922	158.449	1988	47,40	28,99	66,52	23,12	821	156	243	60	29	7	18	41	35	55	61	64	52
2019	set	743735	623847,8291	157.306	2734	187,60	29,52	68,27	17,64	675	117	173	54	26	11	22	27	40	38	54	57	56
2019	out	746634	672265,8376	154.891	2080	238,20	27,87	75,97	21,18	818	166	218	80	26	20	36	28	27	50	62	44	61
2019	nov	749697	708931,1224	145.801	1600	164,90	28,25	78,38	20,28	582	121	211	74	22	5	20	19	17	9	25	26	33
2019	dez	753144	696316,9337	149.642	414	217,20	27,54	82,46	17,10	332	66	139	39	17	3	2	6	5	10	12	18	15

Fonte: Elaboração própria com dados de DENATRAN (2020), ELETROBRÁS (2020), ANP (2020), INPE (2020) e DATASUS (2020)

APÊNDICE B – Resultados Modelagem Estatística

Tabela 1. Modelagem estatística da variável resposta TOTAL.INTERNAMENTOS considerando três tipos de modelagem: Modelos lineares (LM), Modelos Lineares Generalizados (GLM) e Modelos Aditivos Generalizados (GAM). Modelo especificado: TOTAL.INTERNAMENTOS ~ N.FROTA + ENERGIA + REFINO + QUEIMADAS + CHUVA + TEMP.MEDIA + UR + PM + MÊS + ANO

stats::lm()						stats::glm()					mgcv::gam()				
Coefficients:	Estimate	Std. Error	t.value	Pr(> t)	sig	Estimate	Std. Error	z.value	Pr(> z)	sig	edf	Ref.df	Chi.sq	p-value	sig
(Intercept)	-1059,00	2639,00	-0,40	6,89E-01		4,10	0,56	7,39	1,47E-13	***	s(14,00)	14,00	735,8	<2e-16	***
N.FROTA	-0,0015	0,0057	-0,26	7,92E-01		2,79E-07	1,21E-06	0,23	8,18E-01		s(8,82)	8,99	208,7	<2e-16	***
ENERGIA	-0,0002	0,0002	-0,72	4,74E-01		-2,19E-07	5,06E-08	-4,34	1,42E-05	***	s(8,93)	9,00	125,6	<2e-16	***
REFINO	0,0005	0,0007	0,72	4,71E-01		6,94E-07	1,47E-07	4,72	2,36E-06	***	s(8,98)	9,00	391,8	<2e-16	***
QUEIMADAS	-0,01	0,02	-0,67	5,05E-01		-1,33E-05	4,16E-06	-3,20	1,36E-03	**	s(8,97)	9,00	222,4	<2e-16	***
CHUVA	-0,21	0,23	-0,91	3,65E-01		-2,79E-04	4,63E-05	-6,02	1,70E-09	***	s(9,00)	9,00	142,1	<2e-16	***
TEMP.MEDI											s(8,97)	9,00	244,4	<2e-16	***
A	52,17	49,42	1,06	2,93E-01		0,05	0,01	4,55	5,43E-06	***	s(8,06)	8,40	126,9	<2e-16	***
UR	12,72	8,82	1,44	1,52E-01		0,01	0,002	7,57	3,87E-14	***	Estimate	Std.Error	z.value	Pr(> z)	
PM	1,13	3,51	0,32	7,48E-01		0,00	0,001	3,14	1,67E-03	**	15,50	1,66	9,3	< 2e-16	***
(Intercept)											-0,23	0,10	-2,4	1,76E-02	*
MESjan	-566,10	92,00	-6,15	1,18E-08	***	-0,61	0,02	-31,61	< 2e-16	***	-0,07	0,08	-0,8	0,40313	
MESfev	-466,60	86,15	-5,42	3,47E-07	***	-0,47	0,02	-26,93	< 2e-16	***	0,12	0,05	2,2	3,07E-02	*
MESmar	-111,10	78,28	-1,42	1,58E-01		-0,09	0,01	-6,03	1,60E-09	***	0,11	0,03	3,7	1,93E-04	***
MESabr	-46,36	72,37	-0,64	5,23E-01		-0,03	0,01	-2,50	1,24E-02	*	-0,27	0,03	-8,7	< 2e-16	***
MESjun	-112,10	76,10	-1,47	1,43E-01		-0,10	0,01	-6,94	4,04E-12	***	-0,63	0,06	-11,0	< 2e-16	***
MESjul	-266,90	93,57	-2,85	5,17E-03	**	-0,25	0,02	-13,53	< 2e-16	***	-0,84	0,09	-9,4	< 2e-16	***
MESago	-319,20	107,00	-2,98	3,49E-03	**	-0,32	0,02	-14,46	< 2e-16	***	-1,25	0,11	-11,4	< 2e-16	***
MESset	-429,90	114,20	-3,76	2,67E-04	***	-0,47	0,02	-19,41	< 2e-16	***	-1,49	0,13	-11,3	< 2e-16	***
MESout	-378,80	128,90	-2,94	4,00E-03	**	-0,41	0,03	-15,09	< 2e-16	***	-1,49	0,15	-9,7	< 2e-16	***
MESnov	-478,70	133,50	-3,59	4,95E-04	***	-0,54	0,03	-19,27	< 2e-16	***	-1,64	0,18	-9,0	< 2e-16	***
MESdez	-529,40	148,60	-3,56	5,39E-04	***	-0,64	0,03	-20,26	< 2e-16	***	-1,17	0,28	-4,2	3,23E-05	***
ANO2009	243,20	212,40	1,15	2,55E-01		0,26	0,05	5,78	7,37E-09	***	-2,82	0,57	-4,9	8,28E-07	***
ANO2010	465,70	441,20	1,06	2,93E-01		0,44	0,09	4,73	2,21E-06	***	-4,68	0,87	-5,4	7,54E-08	***
ANO2011	588,70	696,10	0,85	3,99E-01		0,50	0,15	3,37	7,42E-04	***					

ANO2012	745,50	943,80	0,79	4,31E-01
ANO2013	783,80	1181,00	0,66	5,08E-01
ANO2014	768,00	1419,00	0,54	5,89E-01
ANO2015	777,10	1632,00	0,48	6,35E-01
ANO2016	756,20	1754,00	0,43	6,67E-01
ANO2017	843,00	1864,00	0,45	6,52E-01
ANO2018	887,90	2009,00	0,44	6,59E-01
ANO2019	894,40	2188,00	0,41	6,83E-01

0,58	0,20	2,88	3,97E-03	**
0,55	0,25	2,19	2,89E-02	*
0,45	0,30	1,50	1,33E-01	
0,39	0,35	1,11	2,67E-01	
0,32	0,37	0,87	3,86E-01	
0,38	0,40	0,97	3,33E-01	
0,38	0,43	0,90	3,71E-01	
0,33	0,47	0,71	4,76E-01	

-5,75	1,16	-4,9	7,56E-07	***
-6,77	1,45	-4,7	2,95E-06	***
-8,62	1,76	-4,9	9,20E-07	***
-10,20	2,06	-4,9	7,57E-07	***
-12,30	2,39	-5,1	2,61E-07	***
-13,68	2,67	-5,1	2,98E-07	***
-15,02	2,97	-5,1	4,20E-07	***
-16,44	3,26	-5,0	4,74E-07	***

Tabela 2. Modelos Aditivos Generalizados (GAM) considerando o modelo estatístico: IDADE.ate.1.ANO ~ s(N.FROTA, k = 15) + s(ENERGIA) + s(REFINO) + s(QUEIMADAS) + s(CHUVA) + s(TEMP.MEDIA) + s(UR) + s(PM) + MES + ANO

Coeficientes paramétricos	Estimate	Std.Error	z.value	Pr(> z)	
(Intercept)	16,71	3,36	4,97	6,58E-07	***
MESjan	-0,51	0,20	-2,58	0,009971	**
MESfev	-0,15	0,16	-0,99	0,322863	
MESmar	-0,04	0,11	-0,38	0,705865	
MESabr	0,10	0,06	1,74	0,082639	.
MESjun	-0,32	0,06	-5,30	1,18E-07	***
MESjul	-0,78	0,11	-6,78	1,22E-11	***
MESago	-1,21	0,18	-6,72	1,88E-11	***
MESset	-1,95	0,22	-8,89	< 2e-16	***
MESout	-2,38	0,27	-9,00	< 2e-16	***
MESnov	-2,29	0,31	-7,39	1,44E-13	***
MESdez	-2,49	0,37	-6,71	1,90E-11	***
ANO2009	-0,92	0,57	-1,62	0,106275	
ANO2010	-3,31	1,16	-2,85	0,004418	**
ANO2011	-5,82	1,76	-3,30	0,000966	***
ANO2012	-7,01	2,36	-2,97	0,002935	**
ANO2013	-8,28	2,94	-2,82	0,004834	**
ANO2014	-11,13	3,56	-3,12	0,001787	**
ANO2015	-13,10	4,18	-3,14	0,001721	**
ANO2016	-15,97	4,84	-3,30	0,000969	***
ANO2017	-17,79	5,41	-3,29	0,001002	**
ANO2018	-19,54	6,01	-3,25	0,00116	**
ANO2019	-21,57	6,62	-3,26	0,001124	**
Approximate significance of smooth terms:					
	edf	Ref.df	Chi.sq	p-value	
s(N.FROTA)	14,0	14,0	586,4	2,00E-16	***
s(ENERGIA)	8,8	9,0	154,1	2,00E-16	***
s(REFINO)	8,4	8,9	252,4	2,00E-16	***
s(QUEIMADAS)	9,0	9,0	282,3	2,00E-16	***
s(CHUVA)	9,0	9,0	203,1	2,00E-16	***
s(TEMP.MEDIA)	9,0	9,0	116,8	2,00E-16	***
s(UR)	8,7	9,0	270,5	2,00E-16	***
s(PM)	7,9	8,2	40,1	6,00E-06	***
R ² ajustado	0,64				
Deviance explicada	87,5%				

Signif. codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

Tabela 3. Modelos Aditivos Generalizados (GAM) considerando o modelo estatístico: IDADE.1a4 ~ s(N.FROTA, k = 15) + s(ENERGIA) + s(REFINO) + s(QUEIMADAS) + s(CHUVA) + s(TEMP.MEDIA) + s(UR) + s(PM) + MES + ANO

Coeficientes paramétricos	Estimate	Std.Error	z.value	Pr(> z)	
(Intercept)	13,89	2,90	4,79	1,71E-06	***
MESjan	-0,38	0,17	-2,22	0,02674	*
MESfev	-0,27	0,14	-1,95	0,05149	.
MESmar	0,16	0,09	1,67	0,09484	.
MESabr	0,14	0,05	2,82	0,00485	**
MESjun	-0,29	0,05	-5,35	8,96E-08	***
MESjul	-0,55	0,10	-5,45	5,07E-08	***
MESago	-0,63	0,16	-3,99	6,63E-05	***
MESset	-1,21	0,19	-6,31	2,86E-10	***
MESout	-1,42	0,23	-6,16	7,14E-10	***
MESnov	-1,55	0,27	-5,75	9,09E-09	***
MESdez	-1,73	0,32	-5,42	5,90E-08	***
ANO2009	-1,39	0,50	-2,81	0,00502	**
ANO2010	-2,60	1,01	-2,58	0,00978	**
ANO2011	-4,65	1,53	-3,04	0,00235	**
ANO2012	-5,85	2,04	-2,87	0,00412	**
ANO2013	-6,87	2,54	-2,70	0,00688	**
ANO2014	-8,29	3,08	-2,70	0,00704	**
ANO2015	-9,71	3,61	-2,69	0,00722	**
ANO2016	-11,40	4,18	-2,73	0,00637	**
ANO2017	-12,84	4,67	-2,75	0,00596	**
ANO2018	-13,82	5,19	-2,66	0,00778	**
ANO2019	-15,08	5,71	-2,64	0,00826	**
Approximate significance of smooth terms:					
	edf	Ref.df	Chi.sq	p-value	
s(N.FROTA)	13,9	14,0	199,9	< 2e-16	***
s(ENERGIA)	7,4	8,3	50,8	8,58E-08	***
s(REFINO)	8,2	8,8	53,4	1,93E-07	***
s(QUEIMADAS)	8,5	8,8	139,1	< 2e-16	***
s(CHUVA)	9,0	9,0	123,3	< 2e-16	***
s(TEMP.MEDIA)	9,0	9,0	57,6	3,79E-09	***
s(UR)	8,9	9,0	112,4	< 2e-16	***
s(PM)	8,0	8,3	67,3	9,62E-11	***
R ² ajustado	0,72				
Deviance explicada	89,6%				

Signif. codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

Tabela 4. Modelos Aditivos Generalizados (GAM) considerando o modelo estatístico: IDADE.5a9 ~ s(N.FROTA, k = 15) + s(ENERGIA) + s(REFINO) + s(QUEIMADAS) + s(CHUVA) + s(TEMP.MEDIA) + s(UR) + s(PM, k = 15) + MES + ANO

Coeficientes paramétricos	Estimate	Std.Error	z.value	Pr(> z)	
(Intercept)	4,99	3,26	1,53	0,12567	
MESjan	-0,62	0,20	-3,18	0,00145	**
MESfev	-0,40	0,16	-2,49	0,01297	*
MESmar	0,23	0,11	2,03	0,0421	*
MESabr	0,06	0,07	0,90	0,36866	
MESjun	-0,10	0,08	-1,24	0,21528	
MESjul	-0,12	0,13	-0,97	0,33044	
MESago	-0,12	0,18	-0,65	0,51695	
MESset	-0,28	0,22	-1,31	0,18986	
MESout	-0,20	0,26	-0,76	0,44804	
MESnov	-0,31	0,30	-1,02	0,30566	
MESdez	-0,35	0,36	-0,99	0,32111	
ANO2009	0,04	0,57	0,08	0,93969	
ANO2010	-0,21	1,16	-0,18	0,8552	
ANO2011	-0,56	1,73	-0,33	0,74483	
ANO2012	-0,42	2,30	-0,18	0,85689	
ANO2013	-0,50	2,86	-0,17	0,86243	
ANO2014	-0,80	3,46	-0,23	0,81658	
ANO2015	-1,11	4,08	-0,27	0,78477	
ANO2016	-0,86	4,68	-0,18	0,85454	
ANO2017	-0,75	5,21	-0,14	0,88532	
ANO2018	-0,40	5,80	-0,07	0,94556	
ANO2019	-0,05	6,38	-0,01	0,9934	
Approximate significance of smooth terms:					
	edf	Ref.df	Chi.sq	p-value	
s(N.FROTA)	11,8	13,0	41,6	7,51E-05	***
s(ENERGIA)	1,0	1,0	1,1	0,288225	
s(REFINO)	8,3	8,8	21,7	0,00625	**
s(QUEIMADAS)	1,0	1,0	11,8	0,000581	***
s(CHUVA)	8,1	8,7	28,8	0,001573	**
s(TEMP.MEDIA)	8,2	8,8	28,6	0,001019	**
s(UR)	8,4	8,9	27,1	0,001181	**
s(PM)	7,9	9,5	31,3	0,00043	***
R ² ajustado	0,70				
Deviance explicada	84,7%				

Signif. codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

Tabela 5. Modelos Aditivos Generalizados (GAM) considerando o modelo estatístico: IDADE.10a14 ~ s(N.FROTA, k = 15) + s(ENERGIA) + s(REFINO) + s(QUEIMADAS) + s(CHUVA) + s(TEMP.MEDIA) + s(UR) + s(PM) + MES + ANO

Coefficientes paramétricos	Estimate	Std.Error	z.value	Pr(> z)
(Intercept)	1,49	3,42	0,44	0,6621
MESjan	-0,37	0,21	-1,78	0,0747 .
MESfev	-0,24	0,17	-1,44	0,1486
MESmar	0,07	0,12	0,58	0,5628
MESabr	-0,01	0,09	-0,06	0,949
MESjun	0,06	0,10	0,57	0,566
MESjul	0,05	0,15	0,33	0,7416
MESago	0,42	0,19	2,24	0,0252 *
MESset	0,09	0,23	0,40	0,6895
MESout	0,13	0,27	0,49	0,6255
MESnov	0,11	0,32	0,35	0,7267
MESdez	0,01	0,38	0,02	0,9808
ANO2009	0,64	0,60	1,06	0,29
ANO2010	0,93	1,22	0,77	0,4433
ANO2011	1,28	1,82	0,70	0,4818
ANO2012	1,67	2,42	0,69	0,4898
ANO2013	1,95	3,02	0,65	0,5178
ANO2014	1,98	3,64	0,55	0,5856
ANO2015	1,80	4,31	0,42	0,6763
ANO2016	2,40	4,91	0,49	0,6255
ANO2017	2,87	5,45	0,53	0,5982
ANO2018	3,61	6,07	0,60	0,5516
ANO2019	4,07	6,67	0,61	0,5419
Approximate significance of smooth terms:				
	edf	Ref.df	Chi.sq	p-value
s(N.FROTA)	10,5	12,2	23,7	0,0153 *
s(ENERGIA)	1,0	1,0	0,9	0,3502
s(REFINO)	2,6	3,3	12,8	0,0048 **
s(QUEIMADAS)	1,0	1,0	1,4	0,2416
s(CHUVA)	1,7	2,1	1,8	0,4712
s(TEMP.MEDIA)	1,0	1,0	0,0	0,8483
s(UR)	1,8	2,3	4,2	0,1558
s(PM)	1,0	1,0	0,9	0,3561
R ² ajustado	0,56			
Deviance explicada	70,4%			

Signif. codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

Tabela 6. Modelos Aditivos Generalizados (GAM) considerando o modelo estatístico: IDADE.15a19 ~ s(N.FROTA, k = 15) + s(ENERGIA) + s(REFINO) + s(QUEIMADAS) + s(CHUVA) + s(TEMP.MEDIA) + s(UR) + s(PM) + MES + ANO

Coeficientes paramétricos	Estimate	Std.Error	z.value	Pr(> z)
(Intercept)	2,08	4,16	0,50	0,6175
MESjan	-0,34	0,26	-1,32	0,1878
MESfev	-0,41	0,22	-1,90	0,0575
MESmar	0,07	0,16	0,42	0,6781
MESabr	0,02	0,12	0,16	0,8743
MESjun	-0,09	0,13	-0,66	0,5065
MESjul	-0,09	0,19	-0,46	0,6428
MESago	0,01	0,25	0,05	0,9569
MESset	-0,04	0,29	-0,15	0,8829
MESout	0,00	0,34	0,01	0,9934
MESnov	0,07	0,40	0,18	0,857
MESdez	-0,06	0,47	-0,13	0,8991
ANO2009	0,01	0,73	0,02	0,9868
ANO2010	-0,39	1,49	-0,26	0,7918
ANO2011	-0,05	2,24	-0,02	0,982
ANO2012	0,01	2,96	0,00	0,9985
ANO2013	0,20	3,69	0,06	0,9565
ANO2014	0,41	4,44	0,09	0,9263
ANO2015	0,75	5,29	0,14	0,887
ANO2016	1,01	5,98	0,17	0,8656
ANO2017	1,61	6,60	0,24	0,807
ANO2018	2,13	7,34	0,29	0,7721
ANO2019	2,68	8,10	0,33	0,7405
Approximate significance of smooth terms:				
	edf	Ref.df	Chi.sq	p-value
s(N.FROTA)	8,5	10,3	13,6	0,2156
s(ENERGIA)	4,1	5,0	7,9	0,1629
s(REFINO)	5,4	6,5	16,7	0,0138 *
s(QUEIMADAS)	1,0	1,0	2,5	0,1147
s(CHUVA)	1,0	1,0	1,3	0,2535
s(TEMP.MEDIA)	1,0	1,0	0,5	0,4715
s(UR)	1,4	1,7	0,2	0,8105
s(PM)	1,7	2,1	3,7	0,1515
R ² ajustado	0,27			
Deviance explicada	49,2%			
Signif. codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1				

Tabela 7. Modelos Aditivos Generalizados (GAM) considerando o modelo estatístico: IDADE.20a29 ~ s(N.FROTA, k = 15) + s(ENERGIA) + s(REFINO) + s(QUEIMADAS) + s(CHUVA, k = 15) + s(TEMP.MEDIA) + s(UR) + s(PM) + MES + ANO

Coeficientes paramétricos	Estimate	Std.Error	z.value	Pr(> z)
(Intercept)	6,48	3,75	1,73	0,0837 .
MESjan	-0,02	0,23	-0,10	0,9174
MESfev	-0,21	0,19	-1,08	0,2804
MESmar	0,03	0,14	0,25	0,7997
MESabr	-0,01	0,10	-0,11	0,9119
MESjun	-0,12	0,11	-1,07	0,2865
MESjul	-0,26	0,16	-1,62	0,1047
MESago	-0,29	0,21	-1,37	0,171
MESset	-0,31	0,26	-1,22	0,222
MESout	-0,28	0,31	-0,91	0,3617
MESnov	-0,31	0,35	-0,87	0,3824
MESdez	-0,55	0,41	-1,33	0,184
ANO2009	-0,80	0,66	-1,21	0,2255
ANO2010	-1,60	1,33	-1,20	0,2286
ANO2011	-2,26	2,00	-1,13	0,2598
ANO2012	-2,72	2,66	-1,02	0,3073
ANO2013	-2,90	3,31	-0,88	0,3804
ANO2014	-3,32	4,00	-0,83	0,4065
ANO2015	-3,81	4,74	-0,81	0,421
ANO2016	-4,19	5,39	-0,78	0,4365
ANO2017	-4,45	5,97	-0,74	0,4567
ANO2018	-4,79	6,65	-0,72	0,4712
ANO2019	-4,95	7,31	-0,68	0,4987
Approximate significance of smooth terms:				
	edf	Ref.df	Chi.sq	p-value
s(N.FROTA)	10,4	12,1	31,4	0,00121 **
s(ENERGIA)	1,0	1,0	0,9	0,35003
s(REFINO)	1,0	1,0	1,2	0,27325
s(QUEIMADAS)	2,3	2,9	8,3	0,03747 *
s(CHUVA)	3,6	4,5	6,4	0,19112
s(TEMP.MEDIA)	1,0	1,0	0,4	0,54489
s(UR)	8,5	8,9	21,4	0,00917 **
s(PM)	1,0	1,0	6,2	0,0131 *
R ² ajustado	0,36			
Deviance explicada	58,8%			
Signif. codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1				

Tabela 8. Modelos Aditivos Generalizados (GAM) considerando o modelo estatístico: IDADE.30a39 ~ s(N.FROTA, k = 15) + s(ENERGIA) + s(REFINO) + s(QUEIMADAS) + s(CHUVA) + s(TEMP.MEDIA) + s(UR) + s(PM) + MES + ANO

Coefficientes paramétricos	Estimate	Std.Error	z.value	Pr(> z)
(Intercept)	0,36	2,98	0,12	0,9026
MESjan	-0,36	0,19	-1,88	0,0602 .
MESfev	-0,28	0,16	-1,77	0,0773 .
MESmar	-0,12	0,12	-0,96	0,3379
MESabr	-0,09	0,09	-0,95	0,3433
MESjun	-0,14	0,10	-1,39	0,1635
MESjul	-0,17	0,14	-1,14	0,2528
MESago	-0,05	0,18	-0,27	0,7898
MESset	-0,14	0,21	-0,68	0,4969
MESout	-0,13	0,25	-0,52	0,6041
MESnov	0,03	0,29	0,09	0,93
MESdez	0,14	0,34	0,41	0,6829
ANO2009	0,49	0,53	0,93	0,3505
ANO2010	0,91	1,06	0,86	0,392
ANO2011	1,34	1,60	0,84	0,402
ANO2012	1,81	2,12	0,85	0,3952
ANO2013	2,32	2,65	0,88	0,381
ANO2014	2,95	3,19	0,92	0,3556
ANO2015	3,86	3,81	1,02	0,3101
ANO2016	4,63	4,30	1,08	0,2818
ANO2017	5,14	4,73	1,09	0,2775
ANO2018	5,79	5,26	1,10	0,2708
ANO2019	6,60	5,80	1,14	0,2547
Approximate significance of smooth terms:				
	edf	Ref.df	Chi.sq	p-value
s(N.FROTA)	8,3	10,2	12,1	0,338
s(ENERGIA)	1,0	1,0	0,2	0,6468
s(REFINO)	1,0	1,0	0,0	0,8276
s(QUEIMADAS)	1,0	1,0	0,9	0,3305
s(CHUVA)	7,4	8,3	13,6	0,1026
s(TEMP.MEDIA)	3,4	4,4	11,5	0,028 *
s(UR)	1,0	1,0	6,3	0,0119 *
s(PM)	1,0	1,0	3,7	0,0553 .
R ² ajustado	0,19			
Deviance explicada	44,3%			

Signif. codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

Tabela 9. Modelos Aditivos Generalizados (GAM) considerando o modelo estatístico: IDADE.40a49 ~ s(N.FROTA, k = 15) + s(ENERGIA) + s(REFINO) + s(QUEIMADAS) + s(CHUVA) + s(TEMP.MEDIA) + s(UR) + s(PM) + MES + ANO

Coefficientes paramétricos	Estimate	Std.Error	z.value	Pr(> z)
(Intercept)	4,14	3,52	1,18	0,24
MESjan	-0,20	0,22	-0,92	0,355
MESfev	-0,28	0,18	-1,54	0,123
MESmar	0,14	0,13	1,11	0,269
MESabr	-0,02	0,09	-0,24	0,809
MESjun	-0,08	0,10	-0,75	0,451
MESjul	-0,23	0,15	-1,51	0,131
MESago	-0,23	0,20	-1,18	0,24
MESset	-0,32	0,24	-1,34	0,179
MESout	-0,33	0,29	-1,13	0,259
MESnov	-0,24	0,33	-0,72	0,469
MESdez	-0,20	0,39	-0,50	0,618
ANO2009	-0,41	0,62	-0,66	0,509
ANO2010	-1,08	1,26	-0,86	0,39
ANO2011	-1,22	1,89	-0,65	0,517
ANO2012	-1,20	2,51	-0,48	0,631
ANO2013	-0,78	3,12	-0,25	0,801
ANO2014	-1,11	3,76	-0,30	0,767
ANO2015	-0,97	4,46	-0,22	0,828
ANO2016	-0,74	5,07	-0,15	0,884
ANO2017	-0,81	5,61	-0,14	0,886
ANO2018	-0,42	6,25	-0,07	0,946
ANO2019	0,07	6,87	0,01	0,992
Approximate significance of smooth terms:				
	edf	Ref.df	Chi.sq	p-value
s(N.FROTA)	9,7	11,5	37,5	0,000292 ***
s(ENERGIA)	3,4	4,3	3,0	0,593005
s(REFINO)	1,7	2,1	3,0	0,248597
s(QUEIMADAS)	2,4	3,0	10,7	0,013523 *
s(CHUVA)	1,0	1,0	0,02	0,892821
s(TEMP.MEDIA)	1,0	1,0	0,1	0,813682
s(UR)	1,0	1,0	0,1	0,779148
s(PM)	1,0	1,0	0,4	0,529096
R ² ajustado	0,38			
Deviance explicada	55,2%			

Signif. codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

Tabela 10. Modelos Aditivos Generalizados (GAM) considerando o modelo estatístico: IDADE.50a59 ~ s(N.FROTA, k = 15) + s(ENERGIA) + s(REFINO) + s(QUEIMADAS) + s(CHUVA) + s(TEMP.MEDIA) + s(UR) + s(PM) + MES + ANO

Coefficientes paramétricos	Estimate	Std.Error	z.value	Pr(> z)
(Intercept)	-4,41	5,83	-0,76	0,4492
MESjan	-0,54	0,34	-1,59	0,1124
MESfev	-0,29	0,28	-1,03	0,3018
MESmar	-0,24	0,19	-1,27	0,2034
MESabr	-0,10	0,11	-0,90	0,3697
MESjun	0,01	0,13	0,10	0,9194
MESjul	-0,23	0,22	-1,07	0,287
MESago	-0,29	0,31	-0,92	0,3565
MESset	0,01	0,38	0,04	0,969
MESout	0,30	0,46	0,64	0,5236
MESnov	0,41	0,54	0,76	0,4504
MESdez	0,60	0,64	0,95	0,3438
ANO2009	1,91	1,01	1,90	0,0575
ANO2010	2,54	2,04	1,25	0,2125
ANO2011	4,21	3,08	1,37	0,1711
ANO2012	6,00	4,12	1,46	0,145
ANO2013	7,55	5,11	1,48	0,1396
ANO2014	8,60	6,19	1,39	0,1648
ANO2015	9,91	7,29	1,36	0,1744
ANO2016	11,00	8,36	1,32	0,1884
ANO2017	12,76	9,34	1,37	0,172
ANO2018	14,33	10,40	1,38	0,1681
ANO2019	15,78	11,42	1,38	0,167
Approximate significance of smooth terms:				
	edf	Ref.df	Chi.sq	p-value
s(N.FROTA)	12,9	13,7	37,2	0,00063 ***
s(ENERGIA)	8,8	9,0	42,5	2,35E-06 ***
s(REFINO)	8,0	8,7	24,9	0,00244 **
s(QUEIMADAS)	1,3	1,5	0,2	0,68401
s(CHUVA)	2,2	2,8	2,5	0,4548
s(TEMP.MEDIA)	5,3	6,5	12,3	0,06117 .
s(UR)	7,2	8,2	18,5	0,01976 *
s(PM)	2,5	3,1	9,8	0,02267 *
R ² ajustado	0,36			
Deviance explicada	67,1%			

Signif. codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

Tabela 11. Modelos Aditivos Generalizados (GAM) considerando o modelo estatístico: IDADE.60a69 ~ s(N.FROTA, k = 15) + s(ENERGIA) + s(REFINO) + s(QUEIMADAS) + s(CHUVA) + s(TEMP.MEDIA) + s(UR) + s(PM) + MES + ANO

Coeficientes paramétricos	Estimate	Std.Error	z.value	Pr(> z)
(Intercept)	5,75	2,40	2,40	0,0165 *
MESjan	-0,11	0,15	-0,73	0,4644
MESfev	-0,07	0,12	-0,56	0,5762
MESmar	-0,03	0,09	-0,30	0,7648
MESabr	0,00	0,07	-0,03	0,9754
MESjun	-0,13	0,08	-1,63	0,1032
MESjul	-0,18	0,11	-1,60	0,109
MESago	-0,35	0,15	-2,39	0,0167 *
MESset	-0,40	0,17	-2,31	0,0208 *
MESout	-0,35	0,20	-1,71	0,0872 .
MESnov	-0,33	0,23	-1,42	0,1545
MESdez	-0,38	0,27	-1,42	0,1562
ANO2009	-0,66	0,42	-1,55	0,1203
ANO2010	-1,46	0,86	-1,70	0,0897 .
ANO2011	-1,87	1,29	-1,44	0,1491
ANO2012	-1,96	1,72	-1,14	0,2533
ANO2013	-1,98	2,13	-0,93	0,3525
ANO2014	-2,08	2,57	-0,81	0,4179
ANO2015	-2,20	3,05	-0,72	0,4714
ANO2016	-2,44	3,45	-0,71	0,4794
ANO2017	-2,52	3,80	-0,66	0,5079
ANO2018	-2,67	4,23	-0,63	0,5281
ANO2019	-2,78	4,66	-0,60	0,5505
Approximate significance of smooth terms:				
	edf	Ref.df	Chi.sq	p-value
s(N.FROTA)	8,1	10,0	26,1	0,00345 **
s(ENERGIA)	6,8	7,8	10,4	0,22148
s(REFINO)	3,1	3,8	3,3	0,44856
s(QUEIMADAS)	1,9	2,4	3,1	0,23953
s(CHUVA)	1,0	1,0	0,9	0,3497
s(TEMP.MEDIA)	1,0	1,0	0,4	0,51814
s(UR)	1,0	1,0	1,1	0,28621
s(PM)	1,0	1,0	2,9	0,09086 .
R ² ajustado	0,49			
Deviance explicada	65,4%			

Signif. codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

Tabela 12. Modelos Aditivos Generalizados (GAM) considerando o modelo estatístico: IDADE.70a79 ~ s(N.FROTA, k = 15) + s(ENERGIA) + s(REFINO) + s(QUEIMADAS) + s(CHUVA) + s(TEMP.MEDIA) + s(UR) + s(PM) + MES + ANO

Coefficientes paramétricos	Estimate	Std.Error	z.value	Pr(> z)
(Intercept)	4,04	4,13	0,98	0,3277
MESjan	-0,15	0,25	-0,61	0,5435
MESfev	-0,11	0,20	-0,55	0,583
MESmar	-0,13	0,14	-0,89	0,3753
MESabr	-0,11	0,09	-1,24	0,2155
MESjun	-0,19	0,10	-1,90	0,0579
MESjul	-0,25	0,16	-1,54	0,1245
MESago	-0,22	0,23	-0,94	0,3498
MESset	-0,19	0,27	-0,70	0,484
MESout	-0,23	0,33	-0,69	0,4876
MESnov	-0,23	0,38	-0,59	0,5562
MESdez	-0,23	0,45	-0,50	0,617
ANO2009	0,31	0,72	0,43	0,6693
ANO2010	-0,22	1,45	-0,15	0,88
ANO2011	0,11	2,19	0,05	0,9611
ANO2012	0,12	2,93	0,04	0,9674
ANO2013	0,41	3,64	0,11	0,9103
ANO2014	-0,05	4,40	-0,01	0,9915
ANO2015	-0,23	5,18	-0,05	0,9639
ANO2016	-0,51	5,92	-0,09	0,9314
ANO2017	-0,28	6,60	-0,04	0,9667
ANO2018	-0,35	7,35	-0,05	0,9624
ANO2019	-0,55	8,08	-0,07	0,9454
Approximate significance of smooth terms:				
	edf	Ref.df	Chi.sq	p-value
s(N.FROTA)	11,9	13,1	48,4	1,50E-05 ***
s(ENERGIA)	5,2	6,3	7,9	0,29421
s(REFINO)	4,3	5,3	6,4	0,2891
s(QUEIMADAS)	3,5	4,4	8,5	0,11267
s(CHUVA)	6,4	7,4	11,2	0,13977
s(TEMP.MEDIA)	8,5	8,9	23,5	0,00361 **
s(UR)	1,0	1,0	4,1	0,04336 *
s(PM)	1,2	1,4	0,7	0,60368
R ² ajustado	0,48			
Deviance explicada	70,3%			

Signif. codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

Tabela 13. Modelos Aditivos Generalizados (GAM) considerando o modelo estatístico: IDADE.80.MAIS ~ s(N.FROTA, k = 15) + s(ENERGIA) + s(REFINO) + s(QUEIMADAS) + s(CHUVA) + s(TEMP.MEDIA) + s(UR) + s(PM) + MES + ANO

Coeficientes paramétricos	Estimate	Std.Error	z.value	Pr(> z)
(Intercept)	-1,30	5,23	-0,25	0,8035
MESjan	-0,59	0,31	-1,91	0,0568
MESfev	-0,34	0,24	-1,39	0,1637
MESmar	-0,18	0,17	-1,03	0,3029
MESabr	-0,09	0,10	-0,97	0,3313
MESjun	0,01	0,11	0,09	0,9254
MESjul	-0,32	0,19	-1,69	0,0917
MESago	-0,19	0,27	-0,71	0,4788
MESset	0,06	0,33	0,19	0,8481
MESout	4,62E-03	0,41	0,01	0,9909
MESnov	0,32	0,48	0,67	0,5062
MESdez	0,30	0,57	0,52	0,604
ANO2009	1,21	0,90	1,35	0,1788
ANO2010	1,76	1,84	0,96	0,3367
ANO2011	3,27	2,78	1,18	0,2384
ANO2012	4,43	3,71	1,19	0,2332
ANO2013	5,70	4,61	1,24	0,2162
ANO2014	5,87	5,57	1,05	0,2922
ANO2015	6,72	6,55	1,03	0,3049
ANO2016	6,89	7,50	0,92	0,3583
ANO2017	7,69	8,37	0,92	0,3581
ANO2018	8,53	9,32	0,92	0,3596
ANO2019	9,43	10,23	0,92	0,3565
Approximate significance of smooth terms:				
	edf	Ref.df	Chi.sq	p-value
s(N.FROTA)	12,9	13,7	62,3	5,40E-08 ***
s(ENERGIA)	8,7	8,9	36,9	2,85E-05 ***
s(REFINO)	7,9	8,6	23,8	0,004358 **
s(QUEIMADAS)	1,0	1,0	2,0	0,16126
s(CHUVA)	8,2	8,8	38,3	8,35E-05 ***
s(TEMP.MEDIA)	8,4	8,9	28,0	0,000579 ***
s(UR)	1,0	1,0	1,7	0,198268
s(PM)	1,0	1,0	1,4	0,243524
R ² ajustado	0,65			
Deviance explicada	80,9%			

Signif. codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

APÊNDICE C – Estimativas de Dados da Frota de Veículos

Tabela 1. Correlação entre Categoria de Veículo, Idade, Combustível e Fator de Emissão de Material Particulado (g/km)

CATEGORIA	CORRESPONDÊNCIA	DETALHE	ANO	IDADE	FATOR DE EMISSÃO
LEVE	AUTOMÓVEL	GASOLINA	2014	3	0,001
LEVE	AUTOMÓVEL	GASOLINA	2014	4	0,001
LEVE	AUTOMÓVEL	GASOLINA	2014	5	0,001
LEVE	AUTOMÓVEL	GASOLINA	2014	6	0,001
LEVE	AUTOMÓVEL	GASOLINA	2014	7	0,001
LEVE	AUTOMÓVEL	GASOLINA	2014	8	0,001
LEVE	AUTOMÓVEL	GASOLINA	2014	9	0,001
LEVE	AUTOMÓVEL	GASOLINA	2014	10	0,001
LEVE	AUTOMÓVEL	GASOLINA	2014	11	0,001
LEVE	AUTOMÓVEL	GASOLINA	2014	12	0,001
LEVE	AUTOMÓVEL	GASOLINA	2014	13	0,001
LEVE	AUTOMÓVEL	GASOLINA	2014	14	0,001
LEVE	AUTOMÓVEL	GASOLINA	2014	15	0,001
LEVE	AUTOMÓVEL	GASOLINA	2015	3	0,001
LEVE	AUTOMÓVEL	GASOLINA	2015	4	0,001
LEVE	AUTOMÓVEL	GASOLINA	2015	5	0,001
LEVE	AUTOMÓVEL	GASOLINA	2015	6	0,001
LEVE	AUTOMÓVEL	GASOLINA	2015	7	0,001
LEVE	AUTOMÓVEL	GASOLINA	2015	8	0,001
LEVE	AUTOMÓVEL	GASOLINA	2015	9	0,001
LEVE	AUTOMÓVEL	GASOLINA	2015	10	0,001
LEVE	AUTOMÓVEL	GASOLINA	2015	11	0,001
LEVE	AUTOMÓVEL	GASOLINA	2015	12	0,001
LEVE	AUTOMÓVEL	GASOLINA	2015	13	0,001
LEVE	AUTOMÓVEL	GASOLINA	2015	14	0,001
LEVE	AUTOMÓVEL	GASOLINA	2015	15	0,001
LEVE	AUTOMÓVEL	GASOLINA	2016	3	0,001
LEVE	AUTOMÓVEL	GASOLINA	2016	4	0,001
LEVE	AUTOMÓVEL	GASOLINA	2016	5	0,001
LEVE	AUTOMÓVEL	GASOLINA	2016	6	0,001
LEVE	AUTOMÓVEL	GASOLINA	2016	7	0,001
LEVE	AUTOMÓVEL	GASOLINA	2016	8	0,001
LEVE	AUTOMÓVEL	GASOLINA	2016	9	0,001
LEVE	AUTOMÓVEL	GASOLINA	2016	10	0,001
LEVE	AUTOMÓVEL	GASOLINA	2016	11	0,001
LEVE	AUTOMÓVEL	GASOLINA	2016	12	0,001
LEVE	AUTOMÓVEL	GASOLINA	2016	13	0,001
LEVE	AUTOMÓVEL	GASOLINA	2016	14	0,001
LEVE	AUTOMÓVEL	GASOLINA	2016	15	0,001
LEVE	AUTOMÓVEL	GASOLINA	2017	3	0,001
LEVE	AUTOMÓVEL	GASOLINA	2017	4	0,001
LEVE	AUTOMÓVEL	GASOLINA	2017	5	0,001
LEVE	AUTOMÓVEL	GASOLINA	2017	6	0,001

LEVE	AUTOMÓVEL	GASOLINA	2017	7	0,001
LEVE	AUTOMÓVEL	GASOLINA	2017	8	0,001
LEVE	AUTOMÓVEL	GASOLINA	2017	9	0,001
LEVE	AUTOMÓVEL	GASOLINA	2017	10	0,001
LEVE	AUTOMÓVEL	GASOLINA	2017	11	0,001
LEVE	AUTOMÓVEL	GASOLINA	2017	12	0,001
LEVE	AUTOMÓVEL	GASOLINA	2017	13	0,001
LEVE	AUTOMÓVEL	GASOLINA	2017	14	0,001
LEVE	AUTOMÓVEL	GASOLINA	2017	15	0,001
LEVE	AUTOMÓVEL	GASOLINA	2018	3	0,001
LEVE	AUTOMÓVEL	GASOLINA	2018	4	0,001
LEVE	AUTOMÓVEL	GASOLINA	2018	5	0,001
LEVE	AUTOMÓVEL	GASOLINA	2018	6	0,001
LEVE	AUTOMÓVEL	GASOLINA	2018	7	0,001
LEVE	AUTOMÓVEL	GASOLINA	2018	8	0,001
LEVE	AUTOMÓVEL	GASOLINA	2018	9	0,001
LEVE	AUTOMÓVEL	GASOLINA	2018	10	0,001
LEVE	AUTOMÓVEL	GASOLINA	2018	11	0,001
LEVE	AUTOMÓVEL	GASOLINA	2018	12	0,001
LEVE	AUTOMÓVEL	GASOLINA	2018	13	0,001
LEVE	AUTOMÓVEL	GASOLINA	2018	14	0,001
LEVE	AUTOMÓVEL	GASOLINA	2018	15	0,001
COM. LEVE	CAMINHONETES/CAMIONETAS/CARROS UTILITÁRIOS	GASOLINA	2014	3	0,0011
COM. LEVE	CAMINHONETES/CAMIONETAS/CARROS UTILITÁRIOS	GASOLINA	2014	4	0,0011
COM. LEVE	CAMINHONETES/CAMIONETAS/CARROS UTILITÁRIOS	GASOLINA	2014	5	0,0011
COM. LEVE	CAMINHONETES/CAMIONETAS/CARROS UTILITÁRIOS	GASOLINA	2014	6	0,0011
COM. LEVE	CAMINHONETES/CAMIONETAS/CARROS UTILITÁRIOS	GASOLINA	2014	7	0,0011
COM. LEVE	CAMINHONETES/CAMIONETAS/CARROS UTILITÁRIOS	GASOLINA	2014	8	0,0011
COM. LEVE	CAMINHONETES/CAMIONETAS/CARROS UTILITÁRIOS	GASOLINA	2014	9	0,0011
COM. LEVE	CAMINHONETES/CAMIONETAS/CARROS UTILITÁRIOS	GASOLINA	2014	10	0,0011
COM. LEVE	CAMINHONETES/CAMIONETAS/CARROS UTILITÁRIOS	GASOLINA	2014	11	0,0011
COM. LEVE	CAMINHONETES/CAMIONETAS/CARROS UTILITÁRIOS	GASOLINA	2014	12	0,0011
COM. LEVE	CAMINHONETES/CAMIONETAS/CARROS UTILITÁRIOS	GASOLINA	2014	13	0,0011
COM. LEVE	CAMINHONETES/CAMIONETAS/CARROS UTILITÁRIOS	GASOLINA	2014	14	0,0011
COM. LEVE	CAMINHONETES/CAMIONETAS/CARROS UTILITÁRIOS	GASOLINA	2014	15	0,0011
COM. LEVE	CAMINHONETES/CAMIONETAS/CARROS UTILITÁRIOS	DIESEL	2014	3	0,052
COM. LEVE	CAMINHONETES/CAMIONETAS/CARROS UTILITÁRIOS	DIESEL	2014	4	0,057
COM. LEVE	CAMINHONETES/CAMIONETAS/CARROS UTILITÁRIOS	DIESEL	2014	5	0,06
COM. LEVE	CAMINHONETES/CAMIONETAS/CARROS UTILITÁRIOS	DIESEL	2014	6	0,063
COM. LEVE	CAMINHONETES/CAMIONETAS/CARROS UTILITÁRIOS	DIESEL	2014	7	0,078
COM. LEVE	CAMINHONETES/CAMIONETAS/CARROS UTILITÁRIOS	DIESEL	2014	8	0,078
COM. LEVE	CAMINHONETES/CAMIONETAS/CARROS UTILITÁRIOS	DIESEL	2014	9	0
COM. LEVE	CAMINHONETES/CAMIONETAS/CARROS UTILITÁRIOS	DIESEL	2014	10	0
COM. LEVE	CAMINHONETES/CAMIONETAS/CARROS UTILITÁRIOS	DIESEL	2014	11	0
COM. LEVE	CAMINHONETES/CAMIONETAS/CARROS UTILITÁRIOS	DIESEL	2014	12	0
COM. LEVE	CAMINHONETES/CAMIONETAS/CARROS UTILITÁRIOS	DIESEL	2014	13	0
COM. LEVE	CAMINHONETES/CAMIONETAS/CARROS UTILITÁRIOS	DIESEL	2014	14	0
COM. LEVE	CAMINHONETES/CAMIONETAS/CARROS UTILITÁRIOS	DIESEL	2014	15	0

COM. LEVE	CAMINHONETES/CAMIONETAS/CARROS UTILITÁRIOS	DIESEL	2018	12	0,078
COM. LEVE	CAMINHONETES/CAMIONETAS/CARROS UTILITÁRIOS	DIESEL	2018	13	0
COM. LEVE	CAMINHONETES/CAMIONETAS/CARROS UTILITÁRIOS	DIESEL	2018	14	0
COM. LEVE	CAMINHONETES/CAMIONETAS/CARROS UTILITÁRIOS	DIESEL	2018	15	0
PESADOS 2	CAMINHÕES	DIESEL	2014	3	0,057
PESADOS 2	CAMINHÕES	DIESEL	2014	4	0,052
PESADOS 2	CAMINHÕES	DIESEL	2014	5	0,058
PESADOS 2	CAMINHÕES	DIESEL	2014	6	0,054
PESADOS 2	CAMINHÕES	DIESEL	2014	7	0,067
PESADOS 2	CAMINHÕES	DIESEL	2014	8	0,067
PESADOS 2	CAMINHÕES	DIESEL	2014	9	0,069
PESADOS 2	CAMINHÕES	DIESEL	2014	10	0,069
PESADOS 2	CAMINHÕES	DIESEL	2014	11	0,086
PESADOS 2	CAMINHÕES	DIESEL	2014	12	0,086
PESADOS 2	CAMINHÕES	DIESEL	2014	13	0,221
PESADOS 2	CAMINHÕES	DIESEL	2014	14	0,221
PESADOS 2	CAMINHÕES	DIESEL	2014	15	0,444
PESADOS 2	CAMINHÕES	DIESEL	2015	3	0,009
PESADOS 2	CAMINHÕES	DIESEL	2015	4	0,057
PESADOS 2	CAMINHÕES	DIESEL	2015	5	0,052
PESADOS 2	CAMINHÕES	DIESEL	2015	6	0,058
PESADOS 2	CAMINHÕES	DIESEL	2015	7	0,054
PESADOS 2	CAMINHÕES	DIESEL	2015	8	0,067
PESADOS 2	CAMINHÕES	DIESEL	2015	9	0,067
PESADOS 2	CAMINHÕES	DIESEL	2015	10	0,069
PESADOS 2	CAMINHÕES	DIESEL	2015	11	0,069
PESADOS 2	CAMINHÕES	DIESEL	2015	12	0,086
PESADOS 2	CAMINHÕES	DIESEL	2015	13	0,086
PESADOS 2	CAMINHÕES	DIESEL	2015	14	0,221
PESADOS 2	CAMINHÕES	DIESEL	2015	15	0,221
PESADOS 2	CAMINHÕES	DIESEL	2016	3	0,009
PESADOS 2	CAMINHÕES	DIESEL	2016	4	0,009
PESADOS 2	CAMINHÕES	DIESEL	2016	5	0,057
PESADOS 2	CAMINHÕES	DIESEL	2016	6	0,052
PESADOS 2	CAMINHÕES	DIESEL	2016	7	0,058
PESADOS 2	CAMINHÕES	DIESEL	2016	8	0,054
PESADOS 2	CAMINHÕES	DIESEL	2016	9	0,067
PESADOS 2	CAMINHÕES	DIESEL	2016	10	0,067
PESADOS 2	CAMINHÕES	DIESEL	2016	11	0,069
PESADOS 2	CAMINHÕES	DIESEL	2016	12	0,069
PESADOS 2	CAMINHÕES	DIESEL	2016	13	0,086
PESADOS 2	CAMINHÕES	DIESEL	2016	14	0,086
PESADOS 2	CAMINHÕES	DIESEL	2016	15	0,221
PESADOS 2	CAMINHÕES	DIESEL	2017	3	0,009
PESADOS 2	CAMINHÕES	DIESEL	2017	4	0,009
PESADOS 2	CAMINHÕES	DIESEL	2017	5	0,009
PESADOS 2	CAMINHÕES	DIESEL	2017	6	0,057
PESADOS 2	CAMINHÕES	DIESEL	2017	7	0,052

PESADOS 2	CAMINHÕES	DIESEL	2017	8	0,058
PESADOS 2	CAMINHÕES	DIESEL	2017	9	0,054
PESADOS 2	CAMINHÕES	DIESEL	2017	10	0,067
PESADOS 2	CAMINHÕES	DIESEL	2017	11	0,067
PESADOS 2	CAMINHÕES	DIESEL	2017	12	0,069
PESADOS 2	CAMINHÕES	DIESEL	2017	13	0,069
PESADOS 2	CAMINHÕES	DIESEL	2017	14	0,086
PESADOS 2	CAMINHÕES	DIESEL	2017	15	0,086
PESADOS 2	CAMINHÕES	DIESEL	2018	3	0,009
PESADOS 2	CAMINHÕES	DIESEL	2018	4	0,009
PESADOS 2	CAMINHÕES	DIESEL	2018	5	0,009
PESADOS 2	CAMINHÕES	DIESEL	2018	6	0,009
PESADOS 2	CAMINHÕES	DIESEL	2018	7	0,057
PESADOS 2	CAMINHÕES	DIESEL	2018	8	0,052
PESADOS 2	CAMINHÕES	DIESEL	2018	9	0,058
PESADOS 2	CAMINHÕES	DIESEL	2018	10	0,054
PESADOS 2	CAMINHÕES	DIESEL	2018	11	0,067
PESADOS 2	CAMINHÕES	DIESEL	2018	12	0,067
PESADOS 2	CAMINHÕES	DIESEL	2018	13	0,069
PESADOS 2	CAMINHÕES	DIESEL	2018	14	0,069
PESADOS 2	CAMINHÕES	DIESEL	2018	15	0,086
PESADOS 2	ÔNIBUS	DIESEL	2014	3	0,15
PESADOS 2	ÔNIBUS	DIESEL	2014	4	0,151
PESADOS 2	ÔNIBUS	DIESEL	2014	5	0,146
PESADOS 2	ÔNIBUS	DIESEL	2014	6	0,158
PESADOS 2	ÔNIBUS	DIESEL	2014	7	0,163
PESADOS 2	ÔNIBUS	DIESEL	2014	8	0,163
PESADOS 2	ÔNIBUS	DIESEL	2014	9	0,166
PESADOS 2	ÔNIBUS	DIESEL	2014	10	0,166
PESADOS 2	ÔNIBUS	DIESEL	2014	11	0,209
PESADOS 2	ÔNIBUS	DIESEL	2014	12	0,209
PESADOS 2	ÔNIBUS	DIESEL	2014	13	0,533
PESADOS 2	ÔNIBUS	DIESEL	2014	14	0,533
PESADOS 2	ÔNIBUS	DIESEL	2014	15	1,071
PESADOS 2	ÔNIBUS	DIESEL	2015	3	0,02
PESADOS 2	ÔNIBUS	DIESEL	2015	4	0,15
PESADOS 2	ÔNIBUS	DIESEL	2015	5	0,151
PESADOS 2	ÔNIBUS	DIESEL	2015	6	0,146
PESADOS 2	ÔNIBUS	DIESEL	2015	7	0,158
PESADOS 2	ÔNIBUS	DIESEL	2015	8	0,163
PESADOS 2	ÔNIBUS	DIESEL	2015	9	0,163
PESADOS 2	ÔNIBUS	DIESEL	2015	10	0,166
PESADOS 2	ÔNIBUS	DIESEL	2015	11	0,166
PESADOS 2	ÔNIBUS	DIESEL	2015	12	0,209
PESADOS 2	ÔNIBUS	DIESEL	2015	13	0,209
PESADOS 2	ÔNIBUS	DIESEL	2015	14	0,533
PESADOS 2	ÔNIBUS	DIESEL	2015	15	0,533
PESADOS 2	ÔNIBUS	DIESEL	2016	3	0,021

PESADOS 2	ÔNIBUS	DIESEL	2016	4	0,02
PESADOS 2	ÔNIBUS	DIESEL	2016	5	0,15
PESADOS 2	ÔNIBUS	DIESEL	2016	6	0,151
PESADOS 2	ÔNIBUS	DIESEL	2016	7	0,146
PESADOS 2	ÔNIBUS	DIESEL	2016	8	0,158
PESADOS 2	ÔNIBUS	DIESEL	2016	9	0,163
PESADOS 2	ÔNIBUS	DIESEL	2016	10	0,163
PESADOS 2	ÔNIBUS	DIESEL	2016	11	0,166
PESADOS 2	ÔNIBUS	DIESEL	2016	12	0,166
PESADOS 2	ÔNIBUS	DIESEL	2016	13	0,209
PESADOS 2	ÔNIBUS	DIESEL	2016	14	0,209
PESADOS 2	ÔNIBUS	DIESEL	2016	15	0,533
PESADOS 2	ÔNIBUS	DIESEL	2017	3	0,021
PESADOS 2	ÔNIBUS	DIESEL	2017	4	0,021
PESADOS 2	ÔNIBUS	DIESEL	2017	5	0,02
PESADOS 2	ÔNIBUS	DIESEL	2017	6	0,15
PESADOS 2	ÔNIBUS	DIESEL	2017	7	0,151
PESADOS 2	ÔNIBUS	DIESEL	2017	8	0,146
PESADOS 2	ÔNIBUS	DIESEL	2017	9	0,158
PESADOS 2	ÔNIBUS	DIESEL	2017	10	0,163
PESADOS 2	ÔNIBUS	DIESEL	2017	11	0,163
PESADOS 2	ÔNIBUS	DIESEL	2017	12	0,166
PESADOS 2	ÔNIBUS	DIESEL	2017	13	0,166
PESADOS 2	ÔNIBUS	DIESEL	2017	14	0,209
PESADOS 2	ÔNIBUS	DIESEL	2017	15	0,209
PESADOS 2	ÔNIBUS	DIESEL	2018	3	0,024
PESADOS 2	ÔNIBUS	DIESEL	2018	4	0,021
PESADOS 2	ÔNIBUS	DIESEL	2018	5	0,021
PESADOS 2	ÔNIBUS	DIESEL	2018	6	0,02
PESADOS 2	ÔNIBUS	DIESEL	2018	7	0,15
PESADOS 2	ÔNIBUS	DIESEL	2018	8	0,151
PESADOS 2	ÔNIBUS	DIESEL	2018	9	0,146
PESADOS 2	ÔNIBUS	DIESEL	2018	10	0,158
PESADOS 2	ÔNIBUS	DIESEL	2018	11	0,163
PESADOS 2	ÔNIBUS	DIESEL	2018	12	0,163
PESADOS 2	ÔNIBUS	DIESEL	2018	13	0,166
PESADOS 2	ÔNIBUS	DIESEL	2018	14	0,166
PESADOS 2	ÔNIBUS	DIESEL	2018	15	0,209
PESADOS 2	MICRO-ÔNIBUS	DIESEL	2014	3	0,095
PESADOS 2	MICRO-ÔNIBUS	DIESEL	2014	4	0,082
PESADOS 2	MICRO-ÔNIBUS	DIESEL	2014	5	0,082
PESADOS 2	MICRO-ÔNIBUS	DIESEL	2014	6	0,085
PESADOS 2	MICRO-ÔNIBUS	DIESEL	2014	7	0,109
PESADOS 2	MICRO-ÔNIBUS	DIESEL	2014	8	0,109
PESADOS 2	MICRO-ÔNIBUS	DIESEL	2014	9	0,166
PESADOS 2	MICRO-ÔNIBUS	DIESEL	2014	10	0,166
PESADOS 2	MICRO-ÔNIBUS	DIESEL	2014	11	0,209
PESADOS 2	MICRO-ÔNIBUS	DIESEL	2014	12	0,209

PESADOS 2	MICRO-ÔNIBUS	DIESEL	2014	13	0,533
PESADOS 2	MICRO-ÔNIBUS	DIESEL	2014	14	0,533
PESADOS 2	MICRO-ÔNIBUS	DIESEL	2014	15	1,071
PESADOS 2	MICRO-ÔNIBUS	DIESEL	2015	3	0,015
PESADOS 2	MICRO-ÔNIBUS	DIESEL	2015	4	0,095
PESADOS 2	MICRO-ÔNIBUS	DIESEL	2015	5	0,082
PESADOS 2	MICRO-ÔNIBUS	DIESEL	2015	6	0,082
PESADOS 2	MICRO-ÔNIBUS	DIESEL	2015	7	0,085
PESADOS 2	MICRO-ÔNIBUS	DIESEL	2015	8	0,109
PESADOS 2	MICRO-ÔNIBUS	DIESEL	2015	9	0,109
PESADOS 2	MICRO-ÔNIBUS	DIESEL	2015	10	0,166
PESADOS 2	MICRO-ÔNIBUS	DIESEL	2015	11	0,166
PESADOS 2	MICRO-ÔNIBUS	DIESEL	2015	12	0,209
PESADOS 2	MICRO-ÔNIBUS	DIESEL	2015	13	0,209
PESADOS 2	MICRO-ÔNIBUS	DIESEL	2015	14	0,533
PESADOS 2	MICRO-ÔNIBUS	DIESEL	2015	15	0,533
PESADOS 2	MICRO-ÔNIBUS	DIESEL	2016	3	0,011
PESADOS 2	MICRO-ÔNIBUS	DIESEL	2016	4	0,015
PESADOS 2	MICRO-ÔNIBUS	DIESEL	2016	5	0,095
PESADOS 2	MICRO-ÔNIBUS	DIESEL	2016	6	0,082
PESADOS 2	MICRO-ÔNIBUS	DIESEL	2016	7	0,082
PESADOS 2	MICRO-ÔNIBUS	DIESEL	2016	8	0,085
PESADOS 2	MICRO-ÔNIBUS	DIESEL	2016	9	0,109
PESADOS 2	MICRO-ÔNIBUS	DIESEL	2016	10	0,109
PESADOS 2	MICRO-ÔNIBUS	DIESEL	2016	11	0,166
PESADOS 2	MICRO-ÔNIBUS	DIESEL	2016	12	0,166
PESADOS 2	MICRO-ÔNIBUS	DIESEL	2016	13	0,209
PESADOS 2	MICRO-ÔNIBUS	DIESEL	2016	14	0,209
PESADOS 2	MICRO-ÔNIBUS	DIESEL	2016	15	0,533
PESADOS 2	MICRO-ÔNIBUS	DIESEL	2017	3	0,011
PESADOS 2	MICRO-ÔNIBUS	DIESEL	2017	4	0,011
PESADOS 2	MICRO-ÔNIBUS	DIESEL	2017	5	0,015
PESADOS 2	MICRO-ÔNIBUS	DIESEL	2017	6	0,095
PESADOS 2	MICRO-ÔNIBUS	DIESEL	2017	7	0,082
PESADOS 2	MICRO-ÔNIBUS	DIESEL	2017	8	0,082
PESADOS 2	MICRO-ÔNIBUS	DIESEL	2017	9	0,085
PESADOS 2	MICRO-ÔNIBUS	DIESEL	2017	10	0,109
PESADOS 2	MICRO-ÔNIBUS	DIESEL	2017	11	0,109
PESADOS 2	MICRO-ÔNIBUS	DIESEL	2017	12	0,166
PESADOS 2	MICRO-ÔNIBUS	DIESEL	2017	13	0,166
PESADOS 2	MICRO-ÔNIBUS	DIESEL	2017	14	0,209
PESADOS 2	MICRO-ÔNIBUS	DIESEL	2017	15	0,209
PESADOS 2	MICRO-ÔNIBUS	DIESEL	2018	3	0,01
PESADOS 2	MICRO-ÔNIBUS	DIESEL	2018	4	0,011
PESADOS 2	MICRO-ÔNIBUS	DIESEL	2018	5	0,011
PESADOS 2	MICRO-ÔNIBUS	DIESEL	2018	6	0,015
PESADOS 2	MICRO-ÔNIBUS	DIESEL	2018	7	0,095
PESADOS 2	MICRO-ÔNIBUS	DIESEL	2018	8	0,082

PESADOS 2	MICRO-ÔNIBUS	DIESEL	2018	9	0,082
PESADOS 2	MICRO-ÔNIBUS	DIESEL	2018	10	0,085
PESADOS 2	MICRO-ÔNIBUS	DIESEL	2018	11	0,109
PESADOS 2	MICRO-ÔNIBUS	DIESEL	2018	12	0,109
PESADOS 2	MICRO-ÔNIBUS	DIESEL	2018	13	0,166
PESADOS 2	MICRO-ÔNIBUS	DIESEL	2018	14	0,166
PESADOS 2	MICRO-ÔNIBUS	DIESEL	2018	15	0,209
MOTOS	MOTOS	ALCOOL/GASOLINA	2014	3	0,0035
MOTOS	MOTOS	ALCOOL/GASOLINA	2014	4	0,0035
MOTOS	MOTOS	ALCOOL/GASOLINA	2014	5	0,0035
MOTOS	MOTOS	ALCOOL/GASOLINA	2014	6	0,0035
MOTOS	MOTOS	ALCOOL/GASOLINA	2014	7	0,0035
MOTOS	MOTOS	ALCOOL/GASOLINA	2014	8	0,0035
MOTOS	MOTOS	ALCOOL/GASOLINA	2014	9	0,0035
MOTOS	MOTOS	ALCOOL/GASOLINA	2014	10	0,014
MOTOS	MOTOS	ALCOOL/GASOLINA	2014	11	0,014
MOTOS	MOTOS	ALCOOL/GASOLINA	2014	12	0,014
MOTOS	MOTOS	ALCOOL/GASOLINA	2014	13	0,014
MOTOS	MOTOS	ALCOOL/GASOLINA	2014	14	0,014
MOTOS	MOTOS	ALCOOL/GASOLINA	2014	15	0,014
MOTOS	MOTOS	ALCOOL/GASOLINA	2015	3	0,0035
MOTOS	MOTOS	ALCOOL/GASOLINA	2015	4	0,0035
MOTOS	MOTOS	ALCOOL/GASOLINA	2015	5	0,0035
MOTOS	MOTOS	ALCOOL/GASOLINA	2015	6	0,0035
MOTOS	MOTOS	ALCOOL/GASOLINA	2015	7	0,0035
MOTOS	MOTOS	ALCOOL/GASOLINA	2015	8	0,0035
MOTOS	MOTOS	ALCOOL/GASOLINA	2015	9	0,0035
MOTOS	MOTOS	ALCOOL/GASOLINA	2015	10	0,0035
MOTOS	MOTOS	ALCOOL/GASOLINA	2015	11	0,014
MOTOS	MOTOS	ALCOOL/GASOLINA	2015	12	0,014
MOTOS	MOTOS	ALCOOL/GASOLINA	2015	13	0,014
MOTOS	MOTOS	ALCOOL/GASOLINA	2015	14	0,014
MOTOS	MOTOS	ALCOOL/GASOLINA	2015	15	0,014
MOTOS	MOTOS	ALCOOL/GASOLINA	2016	3	0,0035
MOTOS	MOTOS	ALCOOL/GASOLINA	2016	4	0,0035
MOTOS	MOTOS	ALCOOL/GASOLINA	2016	5	0,0035
MOTOS	MOTOS	ALCOOL/GASOLINA	2016	6	0,0035
MOTOS	MOTOS	ALCOOL/GASOLINA	2016	7	0,0035
MOTOS	MOTOS	ALCOOL/GASOLINA	2016	8	0,0035
MOTOS	MOTOS	ALCOOL/GASOLINA	2016	9	0,0035
MOTOS	MOTOS	ALCOOL/GASOLINA	2016	10	0,0035
MOTOS	MOTOS	ALCOOL/GASOLINA	2016	11	0,0035
MOTOS	MOTOS	ALCOOL/GASOLINA	2016	12	0,014
MOTOS	MOTOS	ALCOOL/GASOLINA	2016	13	0,014
MOTOS	MOTOS	ALCOOL/GASOLINA	2016	14	0,014
MOTOS	MOTOS	ALCOOL/GASOLINA	2016	15	0,014
MOTOS	MOTOS	ALCOOL/GASOLINA	2017	3	0,0035
MOTOS	MOTOS	ALCOOL/GASOLINA	2017	4	0,0035

MOTOS	MOTOS	ALCOOL/GASOLINA	2017	5	0,0035
MOTOS	MOTOS	ALCOOL/GASOLINA	2017	6	0,0035
MOTOS	MOTOS	ALCOOL/GASOLINA	2017	7	0,0035
MOTOS	MOTOS	ALCOOL/GASOLINA	2017	8	0,0035
MOTOS	MOTOS	ALCOOL/GASOLINA	2017	9	0,0035
MOTOS	MOTOS	ALCOOL/GASOLINA	2017	10	0,0035
MOTOS	MOTOS	ALCOOL/GASOLINA	2017	11	0,0035
MOTOS	MOTOS	ALCOOL/GASOLINA	2017	12	0,0035
MOTOS	MOTOS	ALCOOL/GASOLINA	2017	13	0,014
MOTOS	MOTOS	ALCOOL/GASOLINA	2017	14	0,014
MOTOS	MOTOS	ALCOOL/GASOLINA	2017	15	0,014
MOTOS	MOTOS	ALCOOL/GASOLINA	2018	3	0,0035
MOTOS	MOTOS	ALCOOL/GASOLINA	2018	4	0,0035
MOTOS	MOTOS	ALCOOL/GASOLINA	2018	5	0,0035
MOTOS	MOTOS	ALCOOL/GASOLINA	2018	6	0,0035
MOTOS	MOTOS	ALCOOL/GASOLINA	2018	7	0,0035
MOTOS	MOTOS	ALCOOL/GASOLINA	2018	8	0,0035
MOTOS	MOTOS	ALCOOL/GASOLINA	2018	9	0,0035
MOTOS	MOTOS	ALCOOL/GASOLINA	2018	10	0,0035
MOTOS	MOTOS	ALCOOL/GASOLINA	2018	11	0,0035
MOTOS	MOTOS	ALCOOL/GASOLINA	2018	12	0,0035
MOTOS	MOTOS	ALCOOL/GASOLINA	2018	13	0,0035
MOTOS	MOTOS	ALCOOL/GASOLINA	2018	14	0,014
MOTOS	MOTOS	ALCOOL/GASOLINA	2018	15	0,014

Fonte: Elaboração Própria com dados de CETESB (2019) e DENATRAN (2020)