

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E CONTABILIDADE
MESTRADO EM ECONOMIA APLICADA

MARIANE SOBRAL AFONSO FERREIRA

**ANÁLISE DA EMISSÃO DE POLUENTES DOS MODAIS DE
TRANSPORTE URBANO BRASILEIRO À LUZ DO METABOLISMO SOCIAL**

MACEIÓ

2019

MARIANE SOBRAL AFONSO FERREIRA

**ANÁLISE DA EMISSÃO DE POLUENTES DOS MODAIS DE
TRANSPORTE URBANO BRASILEIRO À LUZ DO METABOLISMO SOCIAL**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Economia.

Orientador(a): Prof. Dr.^a Maria Cecília Junqueira Lustosa

MACEIÓ

2019

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central

Bibliotecário Responsável: Marcelino de Carvalho

F383a Ferreira, Mariane Sobral Afonso.
Uma análise da emissão de poluentes dos modais de transporte urbano brasileiro à luz do metabolismo social / Mariane Sobral Afonso Ferreira. – 2019.
74 f. : il.

Orientadora: Maria Cecília Junqueira Lustosa.
Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) – Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade. Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada. Maceió, 2019.

Bibliografia: f. 70-74.

1. Ecologia - Aspectos econômicos. 2. Metabolismo social (Economia). 3. Poluentes. 4. Transporte urbano. I. Título.

CDU: 504.03

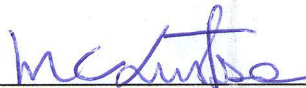
FOLHA DE APROVAÇÃO

MARIANE SOBRAL AFONSO FERREIRA

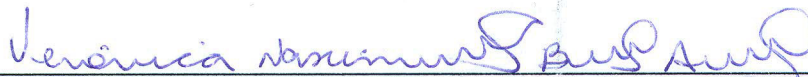
"ANÁLISE DA EMISSÃO DE POLUENTES DOS MODAIS DE TRANSPORTE
URBANO BRASILEIRO À LUZ DO METABOLISMO SOCIAL"

Dissertação submetida ao corpo docente
do Programa de Pós-Graduação em
Economia Aplicada da Universidade
Federal de Alagoas e aprovada em 06 de
setembro de 2019.

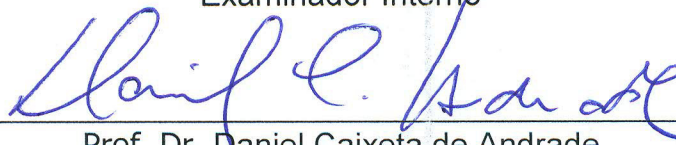
BANCA EXAMINADORA



Profa. Dra. Maria Cecília Junqueira Lustosa
Orientador



Profa. Dra. Verônica Nascimento Brito Antunes
Examinador Interno



Prof. Dr. Daniel Caixeta de Andrade
Examinador Externo

AGRADECIMENTOS

Agradeço a cada pessoa que faz parte da minha vida e influenciou, de alguma forma, a ser quem eu sou hoje.

Aos meus pais, Artur e Nice, por terem executado uma tarefa extremamente difícil, a de educar, e que continuam, até hoje, me dando suporte em tudo que preciso.

Ao meu companheiro, Paulo Gabriel, que tem me apoiado em cada desafio do dia a dia.

Aos meus familiares que por toda a minha vida ensinaram o valor da família.

Aos meus amigos, escolhidos pela sintonia de ideais de vida, àqueles de longas datas, mas principalmente às amizades construídas nesse mestrado, por todo o suporte, por cada fim de semana de estudo coletivo e tantas trocas positivas.

À minha orientadora, Cecília, que me ajudou a escrever essa desafiante dissertação.

À empresa onde trabalho, a CBTU, e àqueles que dela fazem parte. Aos que me ajudaram durante o processo de transferência de Recife a Maceió, por terem acreditado em mim e me incentivado nessa empreitada do mestrado. Àqueles que me acolheram em Maceió e, atualmente, àqueles que tem me ajudado no Rio de Janeiro, trazendo grandes aprendizados.

Àqueles que ajudaram diretamente, contribuindo nos pequenos detalhes desta dissertação, seja editando figuras, ordenando a Bibliografia, corrigindo erros ortográficos e dando contribuições das mais diversas formas para que este trabalho fosse concluído da melhor maneira possível.

RESUMO

O processo de urbanização, responsável pela motorização da população brasileira, ocasiona grande emissão de poluentes na atmosfera. Nos grandes centros urbanos é provocada, em grande parte, pelos modais de transporte urbano. Nesta dissertação, a análise da emissão desses poluentes terá como fundamentação teórica a Economia Ecológica, por meio da relação dos sistemas sociais com os sistemas naturais: o Metabolismo Social que consiste no estudo dos fluxos de energia e matéria retirados, transformados e devolvidos à natureza. Dentro do fluxo metabólico a Excreção é um processo descontrolado, danoso e dependente de todos os processos (Apropriação, Transformação, Distribuição e Consumo), tornando-se um dos fatores mais importantes para o desequilíbrio dos ecossistemas em nosso planeta. A emissão de poluentes atmosféricos por fontes móveis é analisada por meio dos modais: metrô, ônibus, carro, motocicleta, sendo possível comparar o processo de Excreção de cada modal de transporte urbano brasileiro. Para isso, é descrito cada modal, o marco legal acerca da qualidade do ar no Brasil e os poluentes atmosféricos considerados em nível local e global. Os resultados mostram que o nível de excreção por pessoa por quilômetro (epkm) dos modais motorizados individuais chega a ser 36,9 vezes mais elevado se comparado aos públicos, como é o caso dos automóveis comparados ao metrô. Conclui-se que uma saída para reduzir o nível de excreção provocado pelo metabolismo social do transporte urbano brasileiro é o incentivo ao uso e à melhoria dos modais não motorizados além dos públicos, com alta capacidade de ocupação e baixo teor de emissão de poluentes atmosféricos locais e gases do efeito estufa.

Palavras-chave: Economia ecológica; Metabolismo social; Poluentes atmosféricos, Transporte urbano.

ABSTRACT

The urbanization process, responsible for the motorization of the Brazilian population, causes large emissions of pollutants into the atmosphere. In huge urban centers it is caused, in part, by urban transportation modes. In this dissertation, the analysis of the emission of these pollutants will have as theoretical basis the Ecological Economics, through the relationship of social systems with natural systems: the Social Metabolism that consists in the study of the flows of energy and matter removed, transformed and returned to nature. Within the metabolic flow, Excretion is an uncontrolled process, harmful and dependent on all processes (Appropriation, Transformation, Distribution and Consumption), becoming one of the most important factors for the imbalance of ecosystems on our planet. The emission of atmospheric pollutants from mobile sources is analyzed by means of modals: subway, bus, car, motorcycle, and it is possible to compare the Excretion process of each modal of Brazilian urban transport. For this, each modal is described, the legal framework about the air quality in Brazil and the atmospheric pollutants considered at local and global levels. The results show that the level of excretion per person per kilometer (epkm) of the individual motorized modes is 36.9 times higher if compared to the public, as is the case of cars compared to the subway. It is concluded that one way to reduce the level of excretion caused by the social metabolism of Brazilian urban transport is to encourage the use and improvement of non-motorized modals in addition to public ones, with high occupancy capacity and low emission of local air pollutants and greenhouse gases.

Keywords: Ecological economics; Social metabolism; Atmospheric pollutants; Urban transportation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Processos Metabólicos.....	22
Figura 2 - Matriz de Relações entre Setores do Metabolismo Social.....	24
Figura 3 – Ocupação dos Modais de Transporte Urbano Brasileiro	58
Gráfico 1 - Emissões por Passageiro por Quilômetro total - Epkm	65

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Publicações chave sobre a aproximação com o Metabolismo Social	19
Quadro 2- Metodologias Utilizadas nos Estudos do Metabolismo Social	21
Quadro 3 - Fontes, Características e Efeitos dos Poluentes na Atmosfera.....	33
Quadro 4 - Legislação Ambiental no Sentido Amplo	43
Quadro 5 - Legislação por Fontes Móveis - Leis e Código de Trânsito Brasileiro.....	45
Quadro 6 - Legislação por Fontes Móveis - Resoluções CONAMA	46
Quadro 7 - Legislação por Fontes Móveis – IBAMA	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características Operacionais dos Sistemas Metroferroviários, 2016	28
Tabela 2 - Base de Dados da ANTP	51
Tabela 3 – Frota dos Modais Motorizados, 2016	57
Tabela 4 – Viagens Realizadas, 2016	57
Tabela 5 – Ocupação Média dos Modais de Transporte Urbano Brasileiro.....	58
Tabela 6 – Emissão Anual de Poluentes Atmosféricos Locais, 2016	59
Tabela 7 – Emissão Anual de Poluentes Atmosféricos Globais (GEE), 2016	59
Tabela 8 – Emissão de Poluentes Locais por Passageiro por Quilômetro (E _{pkm})	61
Tabela 9 – Emissão de CO ₂ do Sistema Elétrico no Brasil.....	61
Tabela 10 – Emissão de CO ₂ por Quilômetro (E _{km})	63
Tabela 11 - Emissão de CO ₂ por Passageiro por Quilômetro (E _{pkm}).....	63
Tabela 12 – Emissão de Poluentes Totais por Passageiro por Quilômetro (E _{pkm})	64
Tabela 13 - Emissão de Poluentes Totais por Passageiro por Quilômetro - Índice.....	65

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 ECONOMIA ECOLÓGICA.....	15
2.1 Economia do Meio Ambiente e Economia Ecológica.....	15
2.2 Economia Ecológica e Metabolismo Social	17
2.2.1 História do Conceito e Principais Autores	18
2.2.2 Abordagens e Ferramentas Metodológicas	20
2.2.3 Processos Metabólicos.....	21
2.4.4 Metabolismo Urbano	24
2.4.5 Estudos Empíricos	25
3 TRANSPORTE URBANO BRASILEIRO	27
3.1 Modais de Transporte	27
3.1.1 Metrô	27
3.1.2 Ônibus.....	29
3.1.3 Automóvel	29
3.1.4 Motocicleta	30
3.1.5 Bicicleta	30
3.1.6 Andar	31
3.1.7 Bus Rapid Transit (BRT).....	31
3.1.8 Veículo Leve sobre Trilhos (VLT).....	32
3.2 Emissão de Poluentes Veiculares	32
4 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL BRASILEIRA	35
4.1 Instituições.....	35

4.1.1 Evolução das Instituições Ambientais Brasileiras	37
4.2 Legislação da Qualidade do Ar	42
4.2.1 Legislação Ampla	42
4.2.2 Legislação de Poluentes Veiculares	44
5 METODOLOGIA.....	49
5.1 Dados do Simob/ANTP	50
5.2 Cálculo da Emissão de Poluentes Atmosféricos.....	52
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	56
7 CONCLUSÃO.....	68
BIBLIOGRAFIA	70

1 INTRODUÇÃO

O processo desordenado de urbanização brasileira, ocorrido principalmente na segunda metade do século XX, levou à concentração populacional das cidades, ocasionando diversos problemas, dentre eles, a precária mobilidade urbana. A recente motorização da população resulta em constantes congestionamentos, e uma das maiores fontes de poluição atmosférica dos centros urbanos. Além disso, a favelização, ocasionada pela desigualdade urbana, torna os riscos naturais ampliados pela pobreza urbana e cria novos riscos pela interação entre pobreza, poluentes, trânsito e infraestrutura em colapso (DAVIS, 2006).

A qualidade do transporte urbano brasileiro se caracteriza, então, pelo “[...] aumento nos tempos da viagem, perda da mobilidade das pessoas, principalmente das mais carentes, congestionamentos, aumento da poluição, desperdício de energia, acidentes, mortes e aumento da frota de veículos particulares em circulação” (BOARETO, 2008, p.146).

Diante desse cenário, é necessário que a mobilidade urbana seja vista como resultado de políticas públicas, assim como a habitação e o saneamento básico, e não como problema da esfera privada. Dessa forma, estudos da mobilidade no âmbito da economia urbana devem ser incentivados e realizados, sejam quais forem as abordagens: do conceito de cidades sustentáveis; da análise do tempo de deslocamento na ida ao trabalho; das condições de mobilidade urbana das populações de baixa renda e tantas outras.

Analisando, então, tal situação, surgiu a seguinte questão: quais as consequências da atual falta de mobilidade urbana, a partir de uma análise dos modais de transporte urbano brasileiro?

Para responder a esta questão, foi escolhido o metabolismo social, uma abordagem da Economia Ecológica que estuda a relação dos sistemas econômicos com os sistemas ambientais. O metabolismo social é um conceito que busca apreender a lógica dos métodos de produção e relacionamentos sociais a partir dos fluxos de energia e materiais retirados, transformados e devolvidos à natureza (CASADO; MOLINA, 2007). A tendência é que, quanto mais complexas as sociedades, o metabolismo social tende a aumentar.

Esse referencial teórico tem se tornado um dos instrumentos mais robustos para entender as interações entre a sociedade e a natureza, podendo ser útil para uma análise dos modais de transporte urbano brasileiro. No metabolismo social, os fluxos de energia e matéria

começam quando os seres humanos agrupados socialmente se apropriam dos insumos, passando pela transformação, distribuição e consumo, e terminam quando depositam resíduos nos espaços naturais.

A qualidade e a quantidade dos resíduos gerados no processo de Excreção são dependentes dos anteriores (apropriação, transformação, distribuição e consumo) e levam à necessidade de novos processos metabólicos para eliminação ou armazenamento desses resíduos.

A urbanização ocorrida de forma desordenada transformou o processo de Excreção no mais descontrolado e danoso processo metabólico, tornando-se um dos fatores mais importantes para o desequilíbrio dos ecossistemas em nosso planeta (TOLEDO; MOLINA, 2014). Esses poluentes podem levar a consequências das mais diversas, como aquecimento global, doenças respiratórias, danos à vegetação e deterioração do solo, contaminação de águas e tantas outras.

Dessa forma, o foco do trabalho se dará na Excreção, a partir da comparação da emissão de poluentes atmosféricos, locais e gases do efeito estufa - GEE, de cada modal de transporte urbano brasileiro. Os poluentes locais considerados serão CO (monóxido de carbono), HC (hidrocarbonetos), NO_x (óxidos de nitrogênio), SO₂ (dióxido de Enxofre) e MP (material particulado), e, para os casos de GEE, CO₂eq e CO₂.

Apesar da crescente literatura acerca dos problemas da mobilidade urbana e de cidades sustentáveis, pouco se encontra na literatura acerca do metabolismo social urbano. No que se refere a este conceito, inserido na temática da mobilidade urbana brasileira, foi encontrado apenas o estudo proposto por Lustosa et al. (2018), a respeito da análise do metabolismo social dos ônibus urbanos brasileiros.

Entretanto, não foi encontrada nenhuma análise do metabolismo social dos modais de transporte urbano brasileiro. Dessa forma, o trabalho será inovador ao trazer a oportunidade de comparar o nível de excreção de cada modal de transporte urbano brasileiro, sendo pioneiro nesse sentido. Além de trazer, ainda, contribuições ao estudo da mobilidade urbana no país, por meio desta nova abordagem.

Diante dos problemas de mobilidade urbana que o Brasil tem passado e da necessidade de estudo nessa área, surgiu a seguinte problemática: como a falta de mobilidade

urbana se reflete no metabolismo social urbano, especificamente na emissão de poluentes atmosféricos, a partir de uma análise dos modais de transporte urbano brasileiro?

Para tentar responder a problemática acima, foi traçado o seguinte objetivo geral da pesquisa: analisar a emissão de poluentes atmosféricos por passageiro dos modais de transporte urbano brasileiro, sendo possível comparar os níveis de excreção, sob a ótica do metabolismo social.

Para isso, delimitam-se os seguintes objetivos específicos:

- Revisar a literatura acerca da Economia Ecológica e a abordagem do metabolismo social;
- Descrever cada modal de transporte urbano utilizado no Brasil e identificar os principais poluentes veiculares;
- Descrever a legislação brasileira acerca do controle de emissões de poluentes por fontes móveis;
- Verificar os processos do metabolismo social em termos de transporte urbano, focando no processo de excreção;
- Discutir as metodologias da ANTP e Carvalho (2011a) à luz do metabolismo social;
- Comparar os níveis de excreção (poluição) de cada modal de transporte urbano brasileiro;
- Comparar as emissões por passageiro por quilômetro (epkm) dos modais de transporte urbano brasileiro.

No intuito de atingir os objetivos acima descritos, a dissertação está dividida em sete capítulos, contando com esta Introdução. O capítulo 2 introduz o conceito de Economia Ecológica e sua vertente, o metabolismo social, apresentando o histórico, as ferramentas metodológicas, os processos metabólicos, o metabolismo urbano e ainda os estudos empíricos na área. O capítulo 3 apresenta o transporte urbano brasileiro, caracterizando os modais de transporte e descrevendo os principais poluentes emitidos por fontes móveis. O Capítulo 4 traz uma abordagem institucional da Legislação brasileira acerca do meio ambiente, citando as mais importantes Instituições nesse sentido e apresentado o marco legal

acerca da qualidade do ar de uma forma geral e, principalmente, das emissões provocadas por veículos automotores. O capítulo 5 apresenta a metodologia utilizada no estudo, as fontes de dados e as fórmulas utilizadas para o cálculo de emissão de poluentes atmosféricos. O capítulo 6 mostra os resultados encontrados e discute as variáveis analisadas. Por fim, o último capítulo apresenta as conclusões do trabalho.

Nesse contexto, o trabalho faz uma análise de conteúdo, por meio dos indicadores quantitativos agregados fornecidos pela ANTP e por Carvalho (2011a), inseridos no contexto do metabolismo social. Diante disso, tal abordagem acrescenta novas possibilidades de estudo dos processos metabólicos urbanos e da emissão de poluentes atmosféricos do transporte urbano brasileiro.

2 ECONOMIA ECOLÓGICA

“A Economia Ecológica (EE) é um campo de estudo transdisciplinar que enxerga a economia como um subsistema de um ecossistema global maior e finito (Martinez-Alier, 2015, p.1)”. Segundo Santos (2018), a transdisciplinaridade na relação da economia com a biologia e outras ciências (naturais e sociais), abre espaço para a associação entre as Leis da Termodinâmica, a dinâmica de produção e os padrões de produção e consumo da sociedade.

A EE se baseia na tríade de objetivos composta por: escala sustentável, distribuição equitativa e eficiência econômica (SANTOS, 2018). Nesse sentido, Cavalcanti (2010) diz que não se pode haver dúvida de que a Economia Ecológica vê a economia humana como parte – ou subsistema – do todo maior que é a natureza e que a essa se submete de uma forma ou de outra. Desse modo, a natureza impõe limites ao crescimento físico do sistema econômico.

Assim, a EE estuda a relação dos sistemas econômicos com os sistemas ambientais. Ela introduziu a ideia que a economia humana está na natureza e de que os processos econômicos devem ser vistos como processo de transformação biológica, química e física (CECHIN, 2008).

2.1 Economia do Meio Ambiente e Economia Ecológica

A “Economia do Meio Ambiente” é uma disciplina que foi incorporada às ciências econômicas, na dimensão ambiental de suas análises. Ela pode ser dividida nas vertentes neoclássica (Economia Ambiental Neoclássica) e heterodoxa (Economia Ecológica). A primeira, baseada na teoria neoclássica das ciências econômicas, divide-se entre economia da poluição e economia dos recursos naturais. Já a segunda ramificação, a Economia Ecológica, é baseada em fundamentos biofísicos e ecológicos (SANTOS, 2018).

Na abordagem econômica neoclássica sobre o tema meio ambiente, o crescimento econômico não encontra limitação natural, assim as condições do “ótimo” não garantem a estabilidade ecológica. Nesse sentido, Cechin (2008) diz que o mecanicismo e o fascínio pelo equilíbrio na Economia vêm sustentando um ponto ‘ótimo’ para o sistema econômico que ignora suas interações com o sistema biótico.

Dessa forma, na Economia Ambiental Neoclássica, o meio ambiente é neutro e passivo. Os impactos causados ao meio ambiente são considerados externalidades do sistema econômico que devem ser internalizados mediante mecanismos de controle para garantir o bem-estar dos indivíduos (SANTOS, 2018).

Assim sendo, segundo Andrade (2008), a visão neoclássica é limitada ao tratar das inter-relações entre sistema econômico e meio ambiente, comprometendo o fornecimento de subsídios à elaboração de políticas públicas holísticas capazes de fazer frente às demandas postas pela questão da degradação do capital natural.

Já na perspectiva da Economia Ecológica, sempre existirá uma escala sustentável do sistema econômico com respeito ao ecossistema, determinada pela comparação de benefícios econômicos com custos ambientais marginais - custos de oportunidade ecológicos (CAVALCANTI, 2010).

A Economia Ecológica assume, assim, uma abordagem pluralista sobre a relação entre sistema econômico e meio ambiente, reconhecendo que a interação do sistema econômico vai além da extração e devolução de recursos ao meio ambiente. As atividades econômicas expandem fisicamente o sistema econômico gerando custos de oportunidade em termos de deterioração do ecossistema. De maneira geral, a EE considera que a evolução do sistema econômico encontra limites nos recursos naturais finitos e na capacidade de absorção de rejeitos (SANTOS, 2018).

Segundo Cechin (2008), a Economia Ecológica foi institucionalizada por meio da criação da *International Society for Ecologic Economics* (ISEE), em 1988 e, segundo Santos (2018), teve mais publicações e mais encontros por meio da criação do jornal *Ecological Economics*, em 1989. Anterior a isso, alguns autores utilizaram a termodinâmica para entender o processo econômico. É o caso de Sergei Podolinsky (1850-1891), Frederick Soddy (1877-1956) que contribuíram para EE, mas caíram no esquecimento (MARTINEZ-ALIER, 1987).

A Economia Ecológica teve diversas contribuições a partir da década de 1960: Keneth Boulding, Georgescu-Roegen, Herman Daly, Robert Ayres e Allen Kneese (CECHIN, 2008). De modo geral, a economia ecológica está alicerçada no pensamento de Georgescu-Roegen. Segundo ele, o sistema econômico consome natureza (matéria e energia) inexoravelmente

fornecendo lixo (matéria e energia de alta entropia) de volta ao sistema natural (CAVALCANTI, 2010).

2.2 Economia Ecológica e Metabolismo Social

Para Martinez-Alier (2015), a Economia Ecológica (EE) compreende várias vertentes: a valoração monetária de serviços ecossistêmicos (positiva) e de externalidades (negativa), avaliações físicas dos impactos ambientais da economia humana, por meio de indicadores, além de estudo dos direitos de propriedade e a gestão de recursos naturais. Por causa das limitações da valoração monetária, entretanto, economistas ecológicos preferem indicadores físicos no sentido de aferir o impacto total da economia humana no meio ambiente.

Nessa vertente, a EE estuda os “fluxos metabólicos” na atividade-econômica por meio de duas escolas de pesquisa: a primeira é do grupo de Marina Fischer-Kowalski, que tem desenvolvido métodos para o estudo do metabolismo social; já a segunda é a Economia Ecológica Marxista, com menos influência, que trata a economia capitalista como causadora de uma “falha metabólica” entre a humanidade e a natureza (MARTINEZ-ALIER, 2015).

No mundo contemporâneo, os processos naturais e sociais se articulam gerando novas dinâmicas e sinergias imprevisíveis, ameaçando o futuro da espécie humana, do equilíbrio planetário e da vida como um todo (TOLEDO, 2013). Entretanto, as ciências sociais geralmente não consideram a transformação da natureza na satisfação das necessidades dos seres humanos, gerando uma desconexão da sociedade com seus fundamentos físico-biológicos.

A relação entre sociedade e natureza é um processo coevolutivo, e interdependente ao longo do tempo. E, para descrever essa relação de determinação mútua, a ciência necessita conhecer o passado, de forma a obter lições, desenvolvendo um conceito interdisciplinar e que seja, acima de tudo, funcional para a análise das relações socioecológicas, através do tempo e do espaço (TOLEDO, 2013).

Diante dessa urgência de conceitos integradores entre os processos naturais e sociais, surge o metabolismo social, um dos instrumentos propostos para entender a complexa

realidade atual. Esse conceito busca apreender a lógica dos métodos de produção e relacionamentos sociais a partir dos fluxos de energia e materiais retirados, transformados e devolvidos à natureza (CASADO e MOLINA, 2007).

Baseadas na segunda lei da termodinâmica, as transformações ocorrem levando a uma degradação de energia sob a forma de calor, entropia (HERCOVICI, 2005). À medida que as sociedades se tornam mais complexas, o metabolismo social aumenta, e da mesma forma, a entropia, uma vez que as interações socioecológicas crescem. Nesse sentido:

A mensagem principal das perspectivas teóricas que os utilizam é que o sistema econômico, cuja função principal é suportar a organização da produção e consumo de bens e serviços, possui um funcionamento essencialmente termodinâmico (ou entrópico) que gera consequências negativas e cumulativas para sua fonte principal – o meio ambiente (ANDRADE; ROMEIRO; MENDONÇA, 2018, p.67).

A questão da mobilidade urbana, dessa forma, pode ser analisada por meio dessa articulação entre processos naturais e sociais, na perspectiva da Economia Ecológica. A partir desses processos, e dentro da ótica do metabolismo urbano, é possível analisar os modais de transporte urbano brasileiro. Cada modal de transporte urbano tem um processo metabólico diferente e um conseqüente nível de emissão de poluentes.

2.2.1 História do Conceito e Principais Autores

O conceito de “metabolismo social”, usado no estudo das relações entre sociedade e natureza, também conhecido como “metabolismo socioeconômico” ou “metabolismo industrial” tem sido usado desde o século XIX. Entre os primeiros a usar esse conceito está Karl Marx, que o utilizou como ferramenta na análise econômica e política do capitalismo. Ele e alguns outros estudiosos faziam analogia do metabolismo aplicado às áreas sociais, embora sem desenvolverem, na época, uma proposta metodológica específica (TOLEDO ET AL., 2017).

O conceito ressurgiu na década de sessenta por K. Boulding e R. Ayres, que o reinventaram e, especialmente, com a austríaca Marina Fisher-Kowalski, que detalhou a história do conceito, mostrou suas aplicações e potencialidades (TOLEDO, 2013), bem como a grande transição no uso de recursos em sociedades tradicionais e industriais.

Quadro 1- Publicações Chave sobre o Metabolismo Social

Título	Referência	Tipo
<i>The metabolism of the cities</i>	Wolman (1965)	(1)
<i>Industrial Metabolism</i>	Ayres (1989)	(1)
<i>Metabolism of the Anthroposphere</i>	Baccini e Brunner (1991)	(2)
<i>Society's metabolism: on the childhood and adolescence of a rising conceptual star</i>	Fischer-Kowalski (1997)	(1)
<i>Resource flows: the material basis of industrial economies</i>	Adriaanse et al. (1997)	(3)
<i>Societal Metabolism: Blending New Insights from Complex System Thinking with Old Insights from Biophysical Analyses of the Economic Process</i>	Giampietro, Moriguchi e Martínez-Alier (2000)	(1)
<i>The weight of Nations</i>	Matthews et al. (2000)	(3)
<i>Economy-wide material flow accounts and derived indicators: A methodological guide</i>	Eurostat (2001)	(2)
<i>A handbook of Industrial Ecology</i>	Ayres e Ayres (2002)	
<i>North-South trade and the distribution of environmental goods and burdens: a biophysical perspective</i>	Giljum e Eiseemper (2004)	(1)
<i>El metabolismo social: las relaciones. entre la sociedad y la naturaleza</i>	Toledo e Molina	(1)
<i>Socioecological transitions and global change: Trajectories of social metabolism and land use</i>	Fischer-Kowalski e Haberl (2007)	(3)
<i>Metabolismos Rurales</i>	Toledo e Frapolli (2008)	(3)
<i>Growth in global materials use, GDP and popul. during the 20th</i>	Krausmann et al. (2009)	(1)
<i>Metabolismos, naturaleza e historia. Una teoría de las transformaciones socio-ecológicas</i>	González de Molina e Toledo (2011)	(2)
<i>The metabolic pattern of societies: where economists fall short</i>	Giampietro et al. (2011)	(3)
<i>Long term socio-ecological research. Studies in Society: Nature Interactions Across Spatial and Temporal Scales</i>	Singh et al. (2013)	(3)
<i>The social metabolism. A socio-ecological theory of historical change</i>	González de Molina e Toledo (2014)	(2)

Fonte: Elaborado pela autora com dados de Toledo et al. (2017)

Notas: (1) Artigo/Capítulo de livro, (2) Livro, (3) Compilações

No calor da crítica à teoria econômica convencional e da crescente consciência do esgotamento dos recursos naturais, muitos acadêmicos enfatizaram a necessidade de aprofundar a análise biofísica da economia. A crítica estava no fato de que a teoria econômica tradicional ignorou a realidade biofísica em que estava inserida e que, entre outras coisas, isso poderia limitar o crescimento econômico moderno (BOULDING, 1966, 1978; AYRES E KNEESE, 1969; GEORGESCU-ROEGEN, 1971; DALY, 1973 apud TOLEDO ET AL.,

2017). De alguma forma, esses são os precursores do metabolismo social, abordagem convergente com a Economia Ecológica.

Seu uso tem aumentado significativamente nos últimos anos e isso possibilitou diversos métodos para calcular os fluxos de matéria e energia nas sociedades. Hoje, tornou-se um dos instrumentos mais robustos para entender as interações complexas entre a sociedade e natureza (TOLEDO ET AL., 2017). No quadro 1 é possível observar quais foram as principais obras representativas do conceito Metabolismo Social.

2.2.2 Abordagens e Ferramentas Metodológicas

É possível observar na literatura diversas formas de quantificar fluxos de energia e materiais entre a sociedade e seu meio ambiente, e existem dezenas de indicadores e metodologias para tal, até mesmo dentro do Metabolismo Social. O quadro 2 mostra as principais metodologias utilizadas.

Esses métodos para o estudo do metabolismo social contidos no quadro 2 buscam, segundo Martinez-Alier (2015), identificar as tendências na economia do uso de materiais e energia e permitem, assim, respostas a questões como “está a economia se desmaterializando em termos absolutos, ou apenas com relação ao crescimento do PIB?” ou até “está aumentando o custo energético para a obtenção da energia?”

Dentro do âmbito de análise energética (quadro 2), o EROI (retorno energético do insumo) é usado para calcular o aumento do custo energético para a obtenção de energia. Já o HANPP, ainda no quadro 2 e dentro da análise de materiais, busca mostrar que quanto maior a biomassa potencial apropriada pelo humano, menor a disponível para outras espécies e, assim, a chance de biodiversidade. Essa é a proporção apropriada da produção primária líquida (PPL ou NPP) que cresce, por exemplo, por conta da demanda por terra (urbanização e infraestrutura) ou pelo cultivo de alimentos (MARTINEZ-ALIER, 2015).

Quadro 2- Metodologias Utilizadas nos Estudos do Metabolismo Social

Âmbito de Análise	Metodologia
Análises energéticas	Contabilidade do Fluxo de Energia (EFA) Balanços de Energia EROI (<i>Energy Return on Investment</i>) MuSIASEM Análise do Ciclo de Vida (LCA)
Análises de materiais	Contabilidade do Fluxo de Materiais Apropriação Humana da Produtividade Líquido Primário (HANPP) Material de Entrada por Unidade de Serviço (MIPS)
Substâncias	Contabilidade do Fluxo de Substâncias (SFA)
Território	Pegada Ecológica Terra Virtual LACAs (<i>Land Cost of Agrarian Sustainability</i>)
Outros	Balanco de Carbono Água Virtual Metabolismo Histórico Balanco de Nutrientes

Fonte: Elaborado pela autora com dados de Toledo et al. (2017)

2.2.3 Processos Metabólicos

Os seres humanos organizados em sociedade respondem não só aos processos puramente sociais, mas também são afetados pelos fenômenos naturais. Assim, a forma como se organizam determina o modo como afetam a natureza, que por sua vez condiciona a forma como as sociedades são configuradas. Este fenômeno implica no conjunto de processos dos cidadãos organizados em sociedade, onde se apropriam, circulam, transformam, consomem e excretam materiais e energia no meio natural (TOLEDO; MOLINA, 2007).

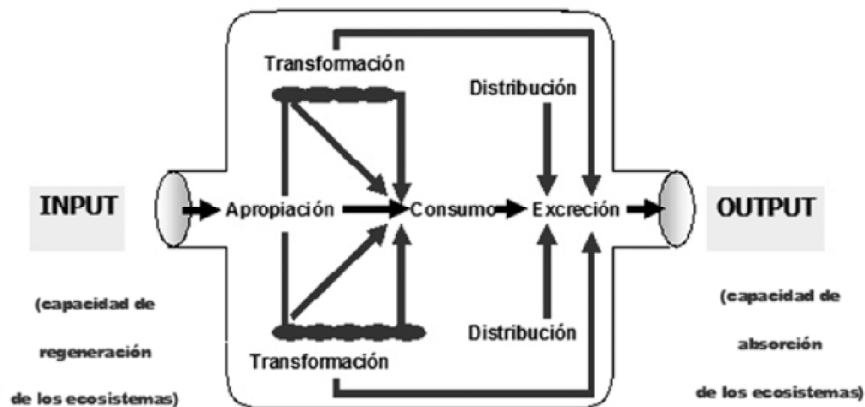
O metabolismo social faz uma analogia com o metabolismo biológico, uma vez que as relações que os seres humanos estabelecem com a natureza são sempre duplas: individual ou biológica e coletiva ou social (TOLEDO et al., 2017). O metabolismo social é, então, a soma dos metabolismos de todos os membros da sociedade.

No nível individual, os seres humanos extraem o necessário à sobrevivência enquanto organismos (oxigênio, água e biomassa), e excretam matérias orgânicas (calor, água, dióxido de carbono e outras substâncias minerais e orgânicas), por isso é também o nível biológico. Já no coletivo, os indivíduos são organizados de forma a garantir a subsistência e reprodução, extraindo matéria e energia e excretando resíduos. Esses dois níveis correspondem à energia

endossomática e à energia exossomática, que representam os fluxos de energia e matéria "biometabólicos" e "sociometabólicos", respectivamente. (TOLEDO; MOLINA, 2007; TOLEDO et al., 2017).

O metabolismo social começa quando os seres humanos agrupados socialmente se apropriam dos insumos e finaliza quando depositam resíduos no meio ambiente. Nele, existem três tipos de fluxos de energia e matéria: os fluxos de entrada (input), os internos e os de saída (output) (TOLEDO, 2013). Como é possível ver por meio da figura 1, esses fluxos ocorrem por meio de cinco processos, que segundo Toledo e Molina (2007) são: apropriação (A), transformação, (T), distribuição (D), consumo (C) e excreção (E).

Figura 1 - Processos Metabólicos



Fonte: Toledo (2013)

A apropriação é a principal forma de troca entre natureza e sociedade. Nela, uma unidade de apropriação (empresa, família, indivíduo) extrai matéria e energia necessária à sobrevivência e reprodução. Já a transformação é o processo onde ocorrem todas as mudanças no que se extraiu. Ela inclui desde o cozimento de alimentos, a atividades mais complexas como fabricação de produtos.

Logo em seguida, vem o processo de distribuição, que surge quando há excedentes locais. O volume e a distância dos elementos que circulam são maiores na medida em que os meios de transporte se tornam mais eficientes.

O próximo processo, o Consumo, envolve toda a sociedade, satisfazendo necessidades dos indivíduos por meio dos três primeiros processos. Da mesma forma, todos estão envolvidos na Excreção, processo no qual os resíduos (matéria e energia) são lançados de volta à natureza. Segundo Toledo (2013), a principal questão está na qualidade e na quantidade desses resíduos, por isso é o processo mais dependente dos anteriores e que necessita de novos processos metabólicos para eliminação ou armazenamento desses resíduos.

O metabolismo social pode ser estudado no seu processo como um todo ou fracionado, são as chamadas dimensões de análise. Dentro dessas dimensões, o processo metabólico permite três campos de estudo: o agrário, o urbano e o industrial (TOLEDO, 2013).

Além dos processos materiais, os seres humanos agrupados socialmente também tem processos intangíveis: sonham, creem, inventam símbolos e linguagem para se comunicarem, criam regras, projetam tecnologias, fazem transações e criam instituições com diferentes fins (TOLEDO, 2013).

Desde as sociedades mais simples, segundo Toledo (2013), esses processos imateriais funcionam como moldura dos cinco processos metabólicos. São as instituições, junto com as outras dimensões simbólicas, que expressam a relação entre a sociedade e a natureza. Dessa forma, todo metabolismo social tem um *hardware* e um *software*.

Cada sociedade tem, então, a sua articulação entre esses processos materiais e imateriais, apesar de que é possível observar formas mais ou menos estáveis dessa interação, determinadas reciprocamente ao longo da história (TOLEDO; MOLINA, 2007).

Ainda segundo Toledo (2013), o estudo pode estender-se em diferentes escalas, são elas: a unidade de apropriação/produção, a de comunidade, a microrregional, a regional, a nacional, a internacional e a global ou de espécie. De maneira similar também pode se abordar o metabolismo social segundo diferentes períodos de tempo, adotados sob uma perspectiva histórica.

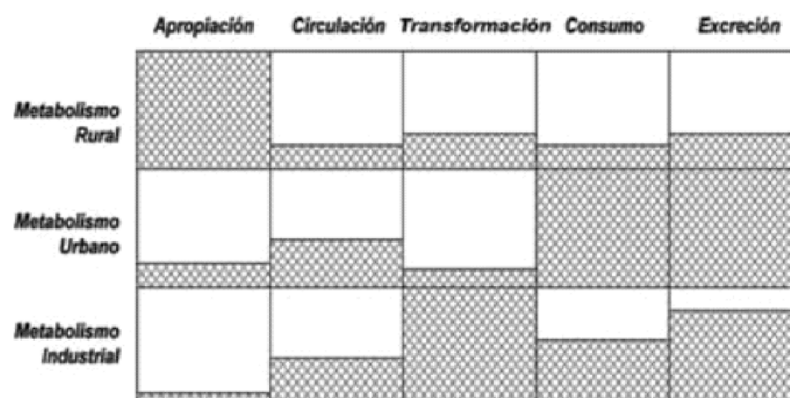
Forma-se, então, um marco tridimensional da análise do processo metabólico composto pelas variáveis: dimensão, escala e tempo. Todas elas têm uma estreita relação, pois toda análise precisa situar-se nessas variáveis.

2.4.4 Metabolismo Urbano

O processo de consumo e, conseqüentemente, de excreção, acontecem de formas muito diferentes entre os setores urbanos e rurais. Isso acontece porque tanto as quantidades totais consumidas, como as proporções de produtos químicos e os tipos de bens e serviços derivam de aspectos econômicos e históricos da formação cultural de cada setor em questão.

O setor urbano foi fundado segundo as práticas de mercados capitalistas, dessa forma, o consumo é o motor da economia e extremamente superior comparado ao rural (figura 2). Como consequência, provoca o aumento dos níveis de extração de matéria prima e do consumo de energia, que por muitas vezes são derivados de fontes não renováveis, elevando também o volume de resíduos descartados inadequadamente na natureza (FARIA, 2017).

Figura 2 - Matriz de Relações entre Setores do Metabolismo Social



Fonte: Toledo (2013)

O processo de excreção fundamenta-se basicamente em dois aspectos: quantidade e qualidade, condicionados aos processos de apropriação, transformação, distribuição e consumo. Enquanto a qualidade do lixo está associada aos níveis de complexidade química, física e biológica e no tempo requerido para a reciclagem dessas substâncias, a quantidade reflete a relação entre o volume de resíduos na atmosfera e na capacidade de absorção do ecossistema (TOLEDO e MOLINA, 2014).

A excreção pode se dar nas formas de efluentes líquidos, resíduos sólidos, emissões gasosas, substâncias químicas, resíduos radioativos e calor. Essas emissões estão atingindo níveis que não só ameaçam a vida humana, como estão modificando ciclos biogeoquímicos de escala global: água, oxigênio, carbono, nitrogênio, fósforo e até mesmo os padrões climáticos (TOLEDO; MOLINA, 2014).

O crescimento acelerado da população, acompanhado da urbanização desordenada e da ocupação de indústrias em locais inadequados, transformou o processo de excreção no mais descontrolado e danoso processo metabólico, tornando-se um dos fatores mais importantes para o desequilíbrio dos ecossistemas em nosso planeta (TOLEDO; MOLINA, 2014).

2.4.5 Estudos Empíricos

Ainda que não exista consenso na definição do conceito de metabolismo social, ele vem se tornando mais usual no meio acadêmico, principalmente nas correntes de economia ambiental e ecológica, de história ambiental e de ecologia política. No âmbito da Economia Ecológica, vem ganhando espaço a partir dos anos 2000, com várias publicações e até livros sobre o assunto (TOLEDO, 2013).

Um grupo muito importante de Viena, fundado por Marina Fisher-Kowalski dentro do Instituto de Ecologia Social, tem publicado e ampliado os conceitos, inclusive aplicando-os empiricamente. A abordagem de Fisher-Kowalski, baseada no metabolismo social, orientou o desenvolvimento de um sistema de contabilidade do fluxo de materiais, incorporado na contabilidade estatística da União Européia (*International Resource Panel*), a partir de uma metodologia conhecida como *Material and Energy Flow Analysis - MEFA (IRP)*.

Há outros três grupos da Espanha: o primeiro, de Joan Martinez-Alier, criou um núcleo de pesquisas na *Universidad Autónoma de Barcelona* com diversos autores como M. Giampietro e J. Ramos-Martin; o segundo, o grupo de Enric Tello da *Universidad de Barcelona*, fez estudos espaciais em colaboração com historiadores e geógrafos, que se dedicaram a fazer análise territorial dos metabolismos sociais em perspectiva histórica; o terceiro, grupo de M. González de Molina, da *Universidad Pablo de Olavide*, em Sevilha,

juntou-se a colegas e alunos realizando diversas pesquisas, teóricas e empíricas, na área do metabolismo rural e de sua transição para o metabolismo industrial, que têm sido aplicadas na Espanha (TOLEDO, 2013).

No Brasil, alguns estudiosos também têm pesquisado metabolismo social. São os casos de Marcelo Firpo Porto em parceria com Joan Martinez-Alier, do núcleo de pesquisas de Barcelona, que fizeram publicações na área de Economia Ecológica, Economia Política e saúde no Brasil (ver PORTO; MARTINEZ-ALIER, 2008). Além da parceria de Porto com Bruno Milanez (ver PORTO; MILANEZ, 2009).

Outro autor que se destaca no país é Rogério Ribeiro de Oliveira, que em parceria com Joana Stingel Fraga pesquisam na área de economia ecológica, com o metabolismo social voltado para o Estado do Rio de Janeiro (ver OLIVEIRA; FRAGA, 2012). Há também Daniel Caixeta Andrade, atual presidente da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica (EcoEco), com pesquisas focadas em Economia Ecológica e publicações na área do metabolismo social. Pesquisando nessa área, atualmente, os países do grupo conhecido como BRICS (Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul).

Além desses grupos e autores, há diversos outros, bem como instituições realizando esses estudos interdisciplinares, inclusive aplicando o conceito em estudos empíricos, no Brasil e no mundo. É evidente a enorme utilidade na dimensão teórica e acadêmica e, mais do que isso, nas contribuições decisivas para os debates sociais, ambientais, políticos e econômicos quanto aos entendimentos do presente e aos processos decisórios do futuro.

3 TRANSPORTE URBANO BRASILEIRO

As pessoas deslocam-se em suas cidades utilizando desde a sofisticada tecnologia do metrô até uma simples caminhada, esse universo de possibilidades de deslocamento é categorizado em modais de transporte. São eles que garantem a necessidade social de se locomover nos grandes centros urbanos.

Os modais de transporte podem ser coletivos ou individuais, públicos ou privados e utilizarem veículos motorizados ou não; podendo apresentar também características híbridas. Cada categoria demanda condições para seu uso e segue regras de circulação, como o Código de Trânsito Brasileiro.

3.1 Modais de Transporte

Os modais considerados neste trabalho para análise da emissão de poluentes locais e de gases do efeito estufa emitidos por veículos são: metrô; ônibus (municipal e metropolitano); automóvel e motocicleta. Todos esses modais são analisados apenas enquanto transporte urbano de passageiros.

São utilizados nos resultados também outras formas de deslocamento: bicicleta e “a pé”, modais não motorizados que, por isso, não geram poluentes atmosféricos locais nem globais e que trazem benefícios à saúde. Outros modais de transporte urbano amplamente utilizados no Brasil serão citados a seguir, mas a nível de conhecimento, apenas. São eles o *bus rapid transit* (BRT) e o veículo leve sobre trilhos (VLT).

3.1.1 Metrô

O metrô surgiu na segunda metade do século XIX, a fim de conectar estações ferroviárias em diversos países da Europa, e foi rapidamente aprimorado com túneis, elevados e tração elétrica. Chegou ao Brasil quase um século depois, beneficiando inicialmente São Paulo, Rio de Janeiro, Recife e Porto Alegre (LERNER, 2009).

Atualmente, existem 15 sistemas metroferroviários no Brasil com atendimento para passageiros urbanos, presente em 12 Unidades da Federação, tendo em São Paulo e Rio de

Janeiro extensões de grande porte; Recife, Porto Alegre, Belo Horizonte e Brasília de médio porte; e Fortaleza, João Pessoa, Teresina, Salvador, Maceió e Natal de pequeno porte (ANTP, 2018). A tabela 1, a seguir, mostra as características físicas e os principais dados operacionais por sistema, considerando os sistemas de grande, médio e pequeno porte.

Tabela 1 – Características Operacionais dos Sistemas Metroferroviários, 2016

Sistema	Município Sede	Extensão (km)	Passageiros/ano (milhão)
Metrô-SP	São Paulo	68,5	888,0
ViaQuatro (Linha 4)	São Paulo	12,5	157,1
CPTM-SP	São Paulo	260,8	644,9
MetrôRio	Rio de Janeiro	58,0	248,5
Supervia	Rio de Janeiro	276,5	181,1
CBTU-REC	Recife	71,4	107,0
CBTU-BH	Belo Horizonte	28,1	59,3
Trensurb	Porto Alegre	43,8	56,2
Metrô-DF	Brasília	40,4	5,9
MetroFor	Fortaleza	43,6	6,5
CBTU-JP	João Pessoa	30,0	1,7
CMTM-Teresina	Teresina	13,6	2,1
CCR Metrô Bahia	Salvador	13,7	3,5
CBTU-Mac	Maceió	32,1	1,7
CBTU-Nat	Natal	56,2	3,1
Total			2.396,7

Fonte: Elaboração da autora com dados da ANTP (2018b)

Caracteriza-se como transporte coletivo público motorizado, de via segregada, sem ultrapassagem e linha paradora, com velocidade média de 40km/h. O Metrô, quando tem 8 carros, tem capacidade estimada de 96.000 passageiros/h, sendo 2.400 passageiros por veículo e uma frequência de 40 veículos/h, a intervalos de 1 minuto e meio (LERNER, 2009). De acordo com a ANTP (2018), no Brasil, em 2016, foram mais de dois bilhões de passageiros transportados ao longo de mais de 500 milhões de quilômetros, por mais de quatro mil carros operacionais.

Tem como importante característica a utilização de energia elétrica para seu deslocamento, evitando que seja lançada na atmosfera grande quantidade de poluentes globais (ANTP, 2015). O metrô tem, ainda, o benefício de não lançar poluentes locais, ocasionados pela queima de combustíveis.

Devido à escala das obras, o metrô apresenta custo de implantação e prazo de execução superiores aos demais modais de transporte público. Estima-se que o custo por quilômetro seja cinco vezes maior que um VLT, no dobro de prazo, e vinte vezes maior que um BRT, no quádruplo do prazo (LERNER, 2009). Entretanto, devido a sua alta capacidade de transportar pessoas e sua baixa emissão de poluentes, têm sido amplamente utilizados para potencializar o crescimento urbano planejado, como recentemente em Brasília e Recife.

Atualmente, existem metrôs em cidades europeias com mais de 120 anos de funcionamento, que contam com extensas redes em seus subsolos. Mas, mesmo nessas cidades, transporta-se mais por meio de ônibus na superfície, que por baixo da terra. São Paulo, por exemplo, mesmo com grande porte, apresenta 84% dos deslocamentos realizados na superfície (LERNER, 2009).

3.1.2 Ônibus

Os ônibus são transportes coletivos públicos motorizados, inicialmente criados para transportar até 45 pessoas sentadas. Nas cidades com mais de 60 mil habitantes, se apresentam como a forma mais importante de deslocamento urbano. Segundo a ANTP (2018), em 2016, no Brasil, houve uma demanda de mais de 18 bilhões de passageiros para o transporte coletivo, sendo que quase 16 bilhões foram atendidos por ônibus. Para tanto, utilizou-se uma frota de mais de 115 mil unidades, que percorreram mais de 9 bilhões de quilômetros.

No Brasil, a indústria de ônibus é uma das maiores do mundo, produzindo tanto ônibus urbanos, quanto intermunicipais e interestaduais. Em 2011, foram produzidos 35 mil ônibus, sendo aproximadamente 20 mil para fins urbanos. O domínio dessa indústria facilitou a produção de mini e micro-ônibus, passando pela breve produção de ônibus elétricos, até os atuais e populares ônibus articulados (ANTP, 2015).

3.1.3 Automóvel

Modo de transporte individual privado motorizado que vem crescendo exponencialmente em produção e uso no Brasil, aumentando a frota de cerca de 40 mil por

ano na década de 1960, para mais de 2,6 milhões em 2011 (ANTP, 2015). Dentre os veículos individuais, constitui-se como maioria, deixando em segunda colocação as motocicletas, com menos da metade da frota.

Do ponto de vista social, apresenta vantagem em relação à motocicleta, já que pode ser ocupado por até cinco ou sete pessoas, reduzindo a liberação de poluente por passageiro transportado. Além disso, garante uma maior segurança em relação às motocicletas quanto aos acidentes provocados no trânsito.

3.1.4 Motocicleta

Inicialmente, utilizado como veículo esportivo para elite e classe média, as motocicletas vêm ganhando popularidade como transporte individual privado motorizado, especialmente como forma de rápido deslocamento entre a casa e o trabalho. A frota, que era de cerca de 120 mil unidades, na década de 1990, passou de dois milhões em 2011 (ANTP, 2015).

As motocicletas apresentam grandes vantagens com relação ao custo de operação e facilidade de estacionamento, além da rapidez no trânsito junto aos demais veículos. Por isso, elas têm sido amplamente utilizadas, nas grandes cidades, para serviços de entrega de mercadorias e documentos.

Apesar dessas vantagens, as motocicletas apresentam alto risco de acidentes entre outros veículos e até com pedestres. Isso acontece porque no Brasil é permitido que elas circulem entre os veículos. Trata-se, portanto, de um modal perigoso e até letal, com riscos de acidentes até cinco vezes maior que o de automóveis (ANTP, 2015).

3.1.5 Bicicleta

Por ser um veículo individual privado não motorizado e de baixo custo, a bicicleta é o transporte mais popular do mundo, especialmente entre os países de alta renda e diversos países asiáticos. Segundo a ANTP (2015), no Brasil, em 2011, a quantidade de bicicletas já era de 52 milhões de unidades, sendo o dobro comparado ao número de automóveis. Já na China a proporção é de 250 bicicletas para cada automóvel.

A bicicleta apresenta grandes vantagens com relação aos baixos custos, tanto de aquisição, quanto de operação e manutenção. Além de ser ótima opção para a manutenção da saúde, oportunizando benefícios cardiorrespiratórios e musculares (ANTP, 2015). É amplamente utilizada em cidades menos populosas e de geografia mais plana, como as cidades do litoral brasileiro.

A bicicleta está sendo incentivada nas grandes cidades pelos planos de mobilidade. Tornaram-se obrigatórios por meio da Política Nacional de Mobilidade Urbana (Lei nº 12.587/2012) a todos os municípios do País com mais de 20 mil habitantes. Tal política tem trazido resultados positivos com a inclusão de ciclovias e ciclofaixas, além de incentivar o compartilhamento de bicicletas.

3.1.6 Andar

Andar é a forma mais natural de deslocamento, podendo ser o único modo utilizado ou complementando outros modos, como andar até o ponto onde chega o veículo coletivo público motorizado. Dessa forma, o percentual de deslocamentos a pé pode variar bastante, quando incluído nos deslocamentos mistos.

Enquanto os municípios mais populosos apresentam mais deslocamentos realizados por meio de veículos coletivos públicos motorizados, os municípios menos populosos apresentam mais deslocamentos a pé. Em alguns municípios brasileiros, a proporção é de mais de 50% dos deslocamentos totais, deixando em segundo colocado o uso de motocicletas (ANTP, 2015).

3.1.7 *Bus Rapid Transit* (BRT)

Bus rapid transit é um termo adotado nos anos 1990, apresentando basicamente vias exclusivas, linhas de alta capacidade e terminais de integração à antiga tecnologia dos ônibus. Hoje, conta com uma série de novas ideias e vem sendo adotada por grandes cidades em todo o mundo. Londres, Istambul, Los Angeles, Cidade do México, Bogotá e São Paulo são exemplos de cidades que iniciaram a implementação dessa tecnologia, mediante linhas

diretas, veículos maiores e multi-articulados, terminais com embarque pré-pago em portas múltiplas, prioridade em semáforos e diversas outras novidades (LERNER, 2009).

3.1.8 Veículo Leve sobre Trilhos (VLT)

Veículo leve sobre trilhos é um termo utilizado desde os anos 1980, para denominar uma versão moderna dos bondes, com piso baixo e prioridade viária. Vem sendo adotado por diversas cidades francesas e norte-americanas. No Brasil, teve sua primeira linha utilizando a antiga estrada de ferro de Sorocaba, mas que funcionou apenas entre 1990 e 1995 (LERNER, 2009).

3.2 Emissão de Poluentes Veiculares

O transporte urbano sempre esteve associado à geração de alguma forma de poluição nas grandes cidades, seja ela atmosférica, sonora ou visual, independentemente do modal predominante (CARVALHO, 2011a, 2011b). Dentre essas externalidades, uma muito preocupante é a poluição atmosférica: “as emissões veiculares desempenham um papel de destaque nos níveis de poluição do ar dos grandes centros urbanos” (CETESB, 2017, p. 15).

Estima-se que o setor de transportes como um todo, e não só urbanos, seja responsável por 11% do total de emissões globais de dióxido de carbono (IPCC, 2014). Ao afetar diretamente a qualidade do ar dos centros urbanos, as emissões de poluentes veiculares trazem diversas consequências à saúde e ao meio ambiente.

Conforme a Resolução CONAMA nº 3, de 28/06/1990, considera-se poluente atmosférico qualquer substância:

[...] em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e à flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade (BRASIL, 1990).

Os poluentes podem ser classificados como primários ou secundários: aqueles que são emitidos diretamente pelas fontes de emissão; e aqueles formados na atmosfera por meio da reação química entre poluentes e/ou constituintes naturais na atmosfera, respectivamente (CETESB, 2018).

Quadro 3 - Fontes, Características e Efeitos dos Poluentes na Atmosfera

Poluente	Características	Fontes Principais	Efeitos Gerais ao Meio Ambiente
Partículas Inaláveis Finas (MP2,5)	Partículas de material sólido ou líquido suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem, etc., que podem permanecer no ar e percorrer longas distâncias. Faixa de tamanho $\leq 2,5$ micra.	Processos de combustão (industrial, veículos automotores), aerossol secundário (formado na atmosfera) como sulfato e nitrato, entre outros.	Danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo e da água.
Partículas Inaláveis (MP10) e Fumaça	Partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem, etc. Faixa de tamanho ≤ 10 micra.	Processos de combustão (indústria e veículos automotores), poeira ressuspensa, aerossol secundário (formado na atmosfera).	Danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo e da água
Partículas Totais em Suspensão (PTS)	Partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem, etc. Faixa de tamanho ≤ 50 micra.	Processos industriais, veículos motorizados (exaustão), poeira de rua ressuspensa, queima de biomassa. Fontes naturais: pólen, aerossol marinho e solo.	Danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo e da água.
Dióxido de Enxofre (SO ₂)	Gás incolor, com forte odor, semelhante ao gás produzido na queima de palitos de fósforos. Pode ser oxidado a SO ₃ , que na presença de vapor de água, passa rapidamente a H ₂ SO ₄ . É um importante precursor dos sulfatos, um dos principais componentes das partículas inaláveis.	Processos que utilizam queima de óleo combustível, refinarias de petróleo, veículos a diesel, produção de polpa de celulose e papel, fertilizantes.	Pode levar à formação de chuva ácida, causar corrosão aos materiais e danos à vegetação: folhas e colheitas.
Dióxido de Nitrogênio (NO ₂)	Gás marrom avermelhado, com odor forte e muito irritante. Pode levar à formação de ácido nítrico, nitratos (os quais contribuem para o aumento das partículas inaláveis na atmosfera) e compostos orgânicos tóxicos.	Processos de combustão envolvendo veículos automotores, processos industriais, usinas térmicas, incinerações.	Pode levar à formação de chuva ácida, danos à vegetação e à colheita.
Monóxido de Carbono (CO)	Gás incolor, inodoro e insípido.	Combustão incompleta em veículos automotores.	
Ozônio (O ₃)	Gás incolor, inodoro nas concentrações ambientais e o principal componente da névoa fotoquímica.	Não é emitido diretamente para atmosfera. É produzido fotoquimicamente pela radiação solar sobre os óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis.	Danos às colheitas, à vegetação natural, plantações agrícolas; plantas ornamentais.

Fonte: Elaboração da autora com dados da Cetesb (2014)

O nível de poluição atmosférica é determinado pela quantificação de substâncias poluentes presentes no ar. A concentração de um poluente na atmosfera depende do grau de exposição dos receptores (seres humanos, outros animais, plantas, materiais). Essa exposição é resultado final da interação desse poluente com a atmosfera, do ponto de vista físico (diluição) e químico (reações químicas). Assim, mesmo mantidas as emissões, a qualidade do ar pode mudar em função da topografia e das condições meteorológicas que determinam a diluição dos poluentes (CETESB, 2018).

Segundo a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), o grupo de poluentes consagrados universalmente como indicadores mais abrangentes da qualidade do ar é composto pelos gases monóxido de carbono, dióxido de enxofre, ozônio e dióxido de nitrogênio, além dos materiais particulados, partículas inaláveis finas, fumaça e partículas totais em suspensão. Esses parâmetros foram escolhidos como indicadores de qualidade do ar devido a sua maior frequência de ocorrência e aos efeitos adversos que causam à saúde e ao meio ambiente. O quadro 3 mostra esses poluentes, assim como suas características, suas fontes principais e seus efeitos ao meio ambiente.

4 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL BRASILEIRA

No Brasil, a legislação acerca do controle da poluição do ar se dá em três vias: qualidade ambiental e controle da poluição em sentido amplo, controle de emissões por fontes fixas, e controle de emissões por fontes móveis (PEREIRA JÚNIOR, 2007). O foco nesta seção será apenas na primeira e na terceira via.

As políticas ambientais no Brasil são relativamente recentes e surgiram diante da corrida pela industrialização brasileira. Sobre esse assunto, Moura (2016) afirma:

A política ambiental federal brasileira começou a ser delineada a partir da década de 1930, tendo evoluído, principalmente, a partir da pressão de organismos internacionais e multilaterais (Banco Mundial, sistema ONU – Organização das Nações Unidas, e movimento ambientalista de ONGs) e em função de grandes acontecimentos internacionais ocorridos a partir da segunda metade do século XX (MOURA, 2016, p.14).

Para compreender a evolução da legislação brasileira nesse sentido, é preciso, primeiramente, entender o que são Instituições e como se deu a evolução das Instituições ambientais brasileiras no que diz respeito ao controle de emissão de poluentes por fontes móveis. E, só então, será possível perceber a importância de tal regulamentação nas políticas voltadas à mobilidade urbana.

4.1 Instituições

O papel das instituições na formação das políticas é indiscutível. Um elemento das diversas definições de instituição está no fato de que ela é ligada a algum tipo de regularidade dos comportamentos (PONDÉ, 2005).

O termo “Instituição” tem diversos significados entre os estudiosos, mesmo entre os autores da Nova Economia Institucional. Entretanto, segundo Pondé (2005):

Uma revisão não exaustiva da literatura recente indica que um elemento essencial de um amplo espectro de definições do que sejam as instituições está na identificação de algum tipo de regularidade dos comportamentos, ou ainda de algum tipo de estrutura subjacente que gera esta regularidade (PONDÉ, 2005, p.123).

Para Ostrom (2005), o termo é utilizado de duas formas, seja para representar organizações (empresas, partidos políticos, famílias, Congresso Nacional etc.), seja para fazer referência às regras que condicionam a tomada de decisão que ocorre, em geral, dentro de ambientes organizacionais.

Já para Douglass North, as Instituições são como as regras do jogo e as organizações os jogadores. Nessa corrente, as instituições, de forma previsível, dizem o que pode e o que não pode ser feito aos agentes (jogadores), por meio de uma estrutura coletiva de incentivos (NORTH, 1993). Além das regras e normas de comportamento, as instituições também preveem mecanismos de *enforcement* relativos a elas.

Segundo North (1993), as normas conteriam prescrições compreensíveis e aceitáveis pela maioria do grupo, entretanto, os mecanismos de *enforcement* exigiriam um custo a quem desobedecê-las, sendo o monitoramento das regras e as sanções aplicadas realizados por agentes específicos.

Para North (1993), a mudança institucional é a chave para a compreensão da mudança histórica. Por definirem e delimitarem o conjunto de escolhas, reduzem as incertezas. Dessa forma, as instituições (regras do jogo), somadas às restrições de tecnologia e recursos, determinam as oportunidades disponíveis para os agentes, em dado momento do tempo, e assim afetam o desempenho da economia

As regras, presentes nas instituições, podem ser formais ou informais. As regras informais seriam: as convenções, as normas de comportamento e os códigos de conduta internalizados. Elas não precisam, necessariamente, estar codificadas e amparadas no sistema jurídico, e ao contrário das regras formais, elas podem, em alguns casos, existir apenas nas mentes das pessoas.

As regras formais, por sua vez, podem ser consideradas como o conjunto de leis, decretos, resoluções administrativas, contratos, e outros documentos oficiais. Elas são a representação do Estado, formando o ordenamento legal.

Para Coase (1937), as Instituições se justificam devido à existência de custos de transação. Se tais custos fossem nulos, não existiriam firmas e a alocação de recursos se daria de forma eficiente via contratos entre indivíduos, havendo então um único tipo de arranjo institucional.

Isso se dá porque sem custos de transação, mesmo que o direito seja designado para a parte menos eficiente, a outra parte poderá comprá-lo da primeira, restabelecendo a alocação mais eficiente. Ao se considerar o custo de transacionar, esse rearranjo dos direitos via mercado só ocorrerá se o aumento no valor total do produto superar os custos de realocação.

É possível, então, entender os custos de transação como os custos associados à transferência e proteção de direitos. Nesse sentido, os custos de transação e o direito de propriedade se entrelaçam. Direitos mal definidos geram altos custos de transação, portanto, uma estrutura institucional que promova a definição e o *enforcement* dos direitos de propriedade será uma estrutura de governança que minimizará custos de transação.

Diante dos custos de transação e dos direitos de propriedade, segundo Williamson (1991), os diferentes arranjos institucionais serão mais ou menos eficientes de acordo com cada transação particular, dependendo do nível de incerteza associado à transação, da especificidade dos ativos envolvidos e da frequência com que a transação se repete.

Quando se trata dos direitos sobre os recursos naturais, a necessidade dessas instituições faz-se ainda maior devido à enorme quantidade de atributos que os compõem, muitas vezes desconhecidos. Dessa forma, a regulamentação ambiental torna-se necessária à conservação e ao desenvolvimento desses recursos. Por outro lado, a emergência e a evolução dos direitos de propriedade são influenciadas pela escassez relativa dos recursos (BONFIM, 2007).

Observa-se o surgimento de formas institucionais, a consolidação e a mudança de outras conforme as pressões da realidade. Entretanto, existe um vácuo de abordagens enfatizando o papel das instituições na formação das políticas e no campo de conhecimento (NOBRE, 2011).

4.1.1 Evolução das Instituições Ambientais Brasileiras

A análise das Instituições Ambientais é um estudo ligado às estruturas de governança. Segundo Loë et al. (2009), a governança ambiental diz respeito aos processos e instituições por meio dos quais as sociedades se organizam e tomam decisões que afetam o meio ambiente.

Assim sendo, problemas ambientais demandam uma ação coordenada não apenas do Estado, mas de toda a coletividade, e a governança compreende exatamente essa multiplicidade dos atores sociais. Alguns atributos desejáveis para uma boa governança ambiental no setor público são, entre outros: economicidade, transparência e prestação de contas para a sociedade (*accountability*), capacidade de execução das metas e programas e responsividade (capacidade de dar resposta aos problemas) em tempo hábil. (MOURA, 2016)

A evolução das instituições ambientais brasileiras ganhou força nas últimas duas décadas do século XX, um tempo relativamente curto. Nesse período o tema meio ambiente deixou de ser secundário e tornou-se de interesse da sociedade. Tal mudança teve discontinuidades, sobressaltos e levou a uma alteração radical do ambiente institucional.

Entretanto, começaram a existir políticas ambientais desde a década de 1930, quando foram dados os primeiros passos na elaboração de normativos relativos à gestão dos recursos naturais, tais como o Código de Águas e o Código Florestal, ambos instituídos em 1934. O período de 1930-1960 foi marcado pelo desenvolvimentismo, com forte intervenção estatal. Havia apenas políticas setoriais que consideravam tangencialmente a questão ambiental, tendo como foco o “controle racional” dos recursos naturais, visando ao melhor uso econômico.

A regulamentação e as políticas ambientais foram todas nesse sentido, apenas renovadas e atualizadas no período. Apenas ao final da década de 1960, a poluição gerada por atividades produtivas, principalmente a industrial, impulsionou a temática do meio ambiente. Em 1967 foi criado o Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF), vinculado à pasta de agricultura e florestal.

Na década de 1970, inicia-se a preocupação com o esgotamento dos recursos naturais no mundo. No Brasil, em 1973, é criada a primeira instituição a tratar da temática ambiental no nível federal: a Secretaria Especial de Meio Ambiente (SEMA), com o intuito de controlar a poluição industrial e urbana.

Na época, o II Plano Nacional de Desenvolvimento (PND) incorporou algumas diretrizes ambientais. Alguns estados também começaram a criar seus órgãos estaduais de meio ambiente, como é o caso da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, hoje Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB).

Uma nova fase começou no fim da década de 1980 e permanece até hoje, marcada pelo baixo crescimento, deterioração da capacidade de intervenção do Estado, ligada à tendência mundial de democratização no final do século XX. Cabe notar, entretanto, que o crescimento do papel do Estado na regulação do meio ambiente ocorreu mesmo na contramão à tendência geral de redução de intervenção pública na época (MOURA, 2016).

Na década de 1980, foi estabelecida a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) pela Lei nº 6.938/81, que criou o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA) e o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). A política foi inovadora ao estabelecer os princípios, as diretrizes, os instrumentos e atribuições para os diversos entes da Federação, descentralizando a política ambiental nacional.

O CONAMA foi criado com a função de assistir o Presidente da República na formulação de diretrizes da Política Nacional do Meio Ambiente, composto por representantes do setor público, entidades de classe (setor produtivo e trabalhadores) e ONG. Ele foi encarregado de estabelecer normas e critérios para o licenciamento de atividades poluidoras, padrões de qualidade ambiental e outras atividades, sempre promovendo o uso racional dos recursos naturais.

Já a Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA) iniciou sua atuação em 1981 e está vigente até hoje. Ela tem tido um papel fundamental na melhoria da capacidade institucional dos órgãos ambientais federais e estaduais para a formulação de políticas e para a gestão ambiental (MOURA, 2016).

Na temática de qualidade ambiental, o CONAMA instituiu o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE), por meio da Resolução nº 18/1986, posteriormente complementado pelo Programa de Controle da Poluição do Ar por Motociclos e Veículos Similares (PROMOT), introduzido pela Resolução nº 297/2002. Além disso, instituiu o Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar (PRONAR), pela Resolução nº 05/1989. O CONAMA regula a qualidade ambiental até os dias de hoje, já que ainda não foi aprovada uma legislação específica sobre o tema.

Com o objetivo de reduzir e controlar a contaminação atmosférica e a emissão de ruído por fontes móveis (veículos automotores), foi criado o PROCONVE/PROMOT, uma divisão do IBAMA. De forma gradativa, o PROCONVE/PROMOT estabeleceu limites máximos de emissões que chegaram a reduzir em mais de 90% as emissões unitárias de vários

poluentes pelos veículos. E, mesmo com o aumento vertiginoso da frota de automóveis, houve uma redução global de cerca de 50% das emissões totais de alguns poluentes controlados (CARVALHO, 2011a, 2011b).

Em 1985 foi criado o Ministério de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente, com a função de definir políticas e coordenar as atividades governamentais na área ambiental.

A partir da Constituição Federal de 1988, ocorre uma maior descentralização da política ambiental, conferindo aos Estados e ao Distrito Federal a competência para legislar sobre as questões ambientais. Como consequência, houve uma estruturação de instituições estaduais e municipais de meio ambiente, resultado da definição da temática ambiental como competência executiva comum entre União, estados e municípios (MOURA, 2016).

O Painel Internacional de Mudanças do Clima (IPCC), estabelecido em 1988 pelo Programa Ambiental das Nações Unidas (UNEP) e pela Organização Mundial de Meteorologia (WMO), é a principal organização para avaliação das mudanças climáticas. O objetivo é dotar o mundo de uma visão científica sobre o assunto. O Brasil é um dos 195 membros do Painel, que conta com a colaboração de milhares de cientistas ao redor do mundo (IPCC, 2019).

Em seguida, em 1989, foi criado o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Renováveis (IBAMA) pela Lei nº 7.735, de 22 de fevereiro de 1989, com a unificação dos órgãos que tratavam a questão ambiental setorialmente: Superintendência do Desenvolvimento da Pesca (SUDEPE), Superintendência da Borracha (SUDHEVEA), IBDF (desenvolvimento florestal) e a SEMA. O IBAMA é responsável pela execução PNMA, e desenvolve diversas atividades para a preservação e conservação do patrimônio natural, por meio do controle e fiscalização sobre o uso dos recursos naturais. Também cabe a ele conceder licenças ambientais para empreendimentos de sua competência.

Ainda em 1989 é criado o Fundo Nacional de Meio Ambiente (FNMA), pela Lei nº 7.797 de 10 de julho de 1989, atualmente uma unidade do Ministério do Meio Ambiente (MMA). Ele tem a missão de contribuir com a implementação da Política Nacional do Meio Ambiente.

O início da década de 1990 se deu com a criação da Secretaria de Meio Ambiente da Presidência da República (SEMAM/PR), em 1990. O interesse na criação da SEMAM/PR

foi na Rio-92, Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD), realizada no Rio de Janeiro, em 1992.

O MMA foi criado em 1992, com a extinção da SEMAM/PR e, nesta década, operou com poucos recursos humanos e financeiros. O MMA visa a proteção e a recuperação do meio ambiente, o uso sustentável dos recursos naturais, a valorização dos serviços ambientais e a inserção do desenvolvimento sustentável na formulação e na implementação de políticas públicas.

Em 2000 foi instituída a Agência Nacional de Águas (ANA), vinculada ao MMA, com o objetivo de implementar a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/97). Foi criado também o Sistema Nacional de Unidade de Conservação da Natureza (SNUC), por meio da Lei nº 9.985/2000, responsável por organizar, uniformizar e proteger as UC.

Ainda em 2000, iniciou-se a segunda etapa da Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA II), que atuou até 2006, em duas linhas principais. A primeira linha, de gestão integrada de ativos ambientais e a segunda linha de desenvolvimento institucional dos estados. A PNMA retornou com sua 3ª etapa em 2009, ainda nas mesmas linhas.

Em 2007, foi criado o Instituto Chico Mendes para Conservação da Biodiversidade (ICMBio), vinculado ao MMA. O ICMBio passou a responder pelo gerenciamento do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), função retirada do IBAMA.

Em 2009 foi instituída a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), por meio da Lei 12.187, oficializando o compromisso do Brasil junto à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, buscando garantir que o desenvolvimento econômico e social contribuam para a proteção do sistema climático global. A PNMC é regulamentada pelo Decreto nº 7.390/2010 e tem o objetivo reduzir entre 36,1% e 38,9% das emissões de gases de efeito estufa projetadas até 2020 (MMA).

Em 2012 foi implantada a Política Nacional de Mobilidade Urbana com os princípios, diretrizes e objetivos instituídos pela Lei nº 12.587/2012. Segundo o Ministério das Cidades:

Um dos principais objetivos da Política Nacional de Mobilidade Urbana é aumentar a participação do transporte coletivo e não motorizado na matriz de deslocamentos da população. Essa política deve integrar o planejamento urbano, transporte e trânsito e observar os princípios de inclusão social e da sustentabilidade ambiental (MCID, 2013, p. 22).

Já em 2015, durante a 21ª Conferência das Partes (COP-21), foi aprovado o Acordo de Paris para reduzir emissões de gases do efeito estufa (GEE). O Brasil, ao assinar o Acordo, assumiu o compromisso de adotar medidas para reduzir a emissão de GEE, por meio da Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC). A partir de então, o país tem metas a alcançar nas emissões de GEE: redução em 37% para 2025 e em 43% para 2030.

4.2 Legislação da Qualidade do Ar

Diante da evolução das instituições ambientais ocorrida nas últimas duas décadas do século XX, o mesmo aconteceu com as regras formais que amparam essas instituições. A partir da década de 1980 a legislação e as políticas ambientais se tornaram mais abrangentes e punitivas, com mecanismos de controle e sanções administrativas; e o planejamento e as avaliações de impacto ambiental passaram a ser utilizadas com maior frequência (BONFIM, 2007).

Essas regras formais em alguns momentos se confundem com a evolução das instituições ambientais. Isso acontece porque as regras formais, como Leis e Resoluções funcionam, algumas vezes, como instrumento de criação dessas instituições.

4.2.1 Legislação Ampla

Foram criadas Leis, Portarias, Decretos, Resoluções e outros documentos oficiais no sentido de regulamentar a qualidade ambiental e o controle da poluição no Brasil. O quadro 4 mostra as principais regras formais que regulam em sentido amplo a qualidade do ar e a emissão de poluentes no país.

Como é possível ver no quadro 4, a CF/88 divide as competências legislativas e administrativas entre os entes da Federação, descentralizando a regulação ambiental. Além desses ganhos, a evolução do movimento ambiental levou à inclusão do Capítulo do Meio Ambiente (Art. 225). A CF/88 apresentou também outras referências ao tema nos princípios gerais da atividade econômica (Art. 170, inciso VI) e em outros dispositivos, como os referentes ao direito de propriedade, à gestão urbana e ao gerenciamento dos recursos hídricos.

Ao estabelecer a Lei nº 9.608/1998 de Crimes Ambientais (quadro 4) o Brasil tornou-se um dos poucos países a possuir um direito penal ambiental. Ela prevê sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente.

Quadro 4 - Legislação Ambiental no Sentido Amplo

Legislação	Objeto
Decreto-Lei nº 1.413/1975	Dispõe sobre o controle da poluição provocada por atividades industriais
Lei nº 6.803/1980	Estabelece as diretrizes básicas para o zoneamento industrial nas áreas críticas de poluição (complementa o Decreto anterior)
Portaria nº 231/1976 do Ministério do Interior	Estabelece os Padrões Nacionais de Qualidade do Ar para material particulado, dióxido de enxofre, monóxido de carbono e oxidantes. Estado deve propor os padrões de emissão
Lei nº 6.938/1981 e seu decreto regulamentador Nº 88.821/1983	Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências
Constituição Federal de 1988	Incorpora Lei nº 6.938/1981 e divide as competências legislativas e administrativas entre os entes da Federação
Resolução CONAMA nº 003/1990	Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar –PRONAR
Lei de Crimes Ambientais nº 9.605/1998	Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências, consolidando todas as infrações e sanções previstas na Legislação ambiental Federal

Fonte: elaboração da autora

Algumas Conferências também culminaram em importantes documentos oficiais que serviram como instrumento de regulação e proteção ao meio ambiente. A seguir, alguns casos serão mostrados.

A Rio-92 (Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento – CNUMAD) foi realizada no Rio de Janeiro, em 1992. Na conferência foram assinados importantes acordos ambientais que refletem sua influência até a atualidade.

Um importante conceito se firmou em 1992, o de cidade sustentável, assim como o conceito de desenvolvimento sustentável, que tem sido objeto de vários estudos e definições desde a elaboração do Relatório Brundtland em 1987, mas ganhou destaque na Rio-92, propondo diretrizes de sustentabilidade para a gestão do território (ANTP, 2008).

Ela desenhou os desafios ambientais, sociais e econômicos de maneira competente, com a formulação da Agenda 21 e a proposição das grandes convenções do clima, de combate à desertificação e de proteção à biodiversidade. Paralelamente, trouxe o desafio de enfrentar o dilema da governança ambiental, da criação de estruturas político-institucionais que viabilizassem a implementação dos instrumentos de políticas ambientais – um dos temas enfatizados na Conferência Rio+20 (MOURA, 2016).

Apesar de ter sido formulada na Rio-92, a Agenda 21 foi lançada no Brasil apenas em 2002. O plano envolveu consultas públicas e a realização de seis estudos temáticos que deram origem ao documento final. Entretanto, foram inseridas novas prioridades no Brasil e estão deixando de lado seu papel de direcionar a política ambiental brasileira.

Em 2002 foi realizada a Conferência Ambiental Rio+10, em Joanesburgo, África do Sul. O foco da Rio+10 foi a avaliação dos resultados da Rio-92, mudanças climáticas e fontes energéticas renováveis.

Em 2012 houve a Conferência Rio+20, marcando os 20 anos da Rio-92. Ela teve como objetivos a renovação e avaliação do compromisso político para o desenvolvimento sustentável e identificar desafios, permeados em dois temas: economia verde e erradicação da pobreza, e estrutura institucional.

Ao contrário da Rio-92, a Rio+20 se deu em um contexto internacional pouco favorável. Assim, a Rio+20 não teve sucesso em colocar-se como uma oportunidade para os países que passavam por crises financeiras, para questionar o crescimento econômico pautado em bases insustentáveis e pouco equitativas (MOURA, 2016).

4.2.2 Legislação de Poluentes Veiculares

Em 1986, iniciou-se o estabelecimento de metas para a redução da emissão de gases e materiais particulados por fontes móveis no Brasil, quando foi criado PROCONVE. Algumas Leis, e o próprio Código de Trânsito Brasileiro também surgiram nesse sentido, como é possível verificar no quadro 5.

É importante destacar a Lei nº 12.587/2012 no que refere à mobilidade urbana (quadro 5). Essa Lei, conhecida como Lei da mobilidade Urbana, determinou aos municípios acima de 20 mil habitantes o desenvolvimento de Planos de Mobilidade Urbana até abril de 2015.

A lei fala, ainda, no incentivo ao desenvolvimento científico-tecnológico e ao uso de energias renováveis e menos poluentes; dispositivos que podem ser usados pelo poder público como Adoção de padrões para controle de poluentes, em locais e horários determinados

Dessa forma, segundo o MCID (2013, p.7) “A promulgação desta Lei fornece segurança jurídica para que os municípios adotem medidas para, por exemplo, priorizar os modos não motorizados e coletivos de transporte em detrimento do transporte individual motorizado”.

Quadro 5 - Legislação por Fontes Móveis - Leis e Código de Trânsito Brasileiro

Legislação	Objeto
Lei nº 8.723/1993	Reproduz as metas estabelecidas na Resolução 18/1986 sobre a redução de emissão de poluentes por veículos automotores e dá outras providências, delegando ao próprio CONAMA a atualização e o estabelecimento de novas metas
Leis nº 10.203/2001 e nº 10.696/2003	Alteram a Lei 8.723/93 quanto ao teor de álcool anidro, que deve ser adicionado à gasolina automotiva, fixando os limites, máximo e mínimo, em 25% e 20%, respectivamente.
Código de Trânsito Brasileiro – CTB	Prevê o controle da emissão de gases e materiais particulados poluentes por veículos automotores
Lei nº 9.503/1997	Institui o CTB e prevê o Certificado de Licenciamento anual do veículo sujeito à inspeção obrigatória e periódica do CONTRAM
Lei nº 12.587/2012	Institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana e dá outras providências
Decreto 9.172/2017	Institui o Sistema de Registro Nacional de Emissões (SIRENE) como instrumento oficial para a disponibilização de resultados de emissões de GEE

Fonte: elaboração da autora.

A Resolução CONAMA nº 18/1986 (quadro 6) iniciou o estabelecimento de metas para a redução da emissão de gases e materiais particulados por fontes móveis no Brasil, pelo PROCONVE, fixando prazos, limites máximos de emissão e estabelece exigências tecnológicas para veículos automotores, nacionais e importados.

Outras Resoluções do CONAMA (quadro 6) foram emitidas no sentido de [...] estabelecer, privativamente, normas e padrões nacionais de controle da poluição causada por veículos automotores, aeronaves e embarcações, mediante audiência dos Ministérios competentes [...]” (MMA).

Quadro 6 - Legislação por Fontes Móveis - Resoluções CONAMA

Legislação	Objeto
Resolução CONAMA nº 18/1986	Institui o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE) para estabelecer metas da emissão de gases e MP por fontes móveis
Resolução CONAMA nº 03/1989	Dispõe sobre níveis de Emissão de aldeídos no gás e escapamento desses veículos
Resolução CONAMA nº 04/1989	Dispõe sobre níveis de Emissão de Hidrocarbonetos pelo veículos
Resolução CONAMA nº 15/1989	Dispõe sobre apresentação de EIAS, pela PETROBRÁS, sobre o uso de etanol como combustível
Resolução CONAMA nº 1/1993	Atualiza metas do PROCONVE, atende ao CTB e complementa a Res 18/1986, estabelecendo limites de ruído com veículos automotores em aceleração e parados, exceto motos e semelhantes (alterada pelas Res. CONAMA nº 8/93, 17/95 e 272/00)
Resolução CONAMA nº 2 /1993	Dispõe sobre esses limites máximos para os veículos não incluídos na resolução anterior (alterada pela Resolução CONAMA nº 268/00)
Resolução CONAMA nº 242/98	Complementa Resolução CONAMA nº 1/1993 dispondo sobre limites de emissão de material particulado para veículo leve comercial e veículos com características especiais, harmoniza PROCONVE com o MERCOSUL
Resolução CONAMA nº 16/1993	Ratifica os limites de emissão, os prazos e exigências contidas na Res. CONAMA 018/86 (complementada pelas Res. CONAMA 03 e 004/89, 06/93, 07/93, 008/93)
Resolução CONAMA nº 16/1994	Estabelece novos prazos para o cumprimento da Resolução CONAMA nº 008/93
Resolução CONAMA nº 27/1994	Revoga a Resolução anterior e fixa novos prazos para cumprimento da Resolução CONAMA nº 008/93
Resolução CONAMA nº 15/1995	Dispõe sobre a nova classificação dos veículos automotores para o controle da emissão veicular e dá outras providências
Resolução CONAMA nº 16/1995	Complementa a Res. CONAMA 008/93 e dispõe sobre os limites de emissão de poluentes de veíc. pesados novos e determina a certificação de veículos novos Diesel
Resolução CONAMA nº 17/1995	Dispõe sobre os limites máximos de ruído para veículos de passageiros ou modificados
Resolução CONAMA nº 226/1997	Estabelece limites máx. de emissão de fuligem de veículos automotores a Diesel comercial e faz cronograma de implantação (alterada pela Res. CONAMA 321/03)
Resolução CONAMA nº 251/1999	Estabelece critérios, procedimentos e limites máximos de opacidade da emissão de escapamento, tornando possível verificar o estado de manutenção dos veículos automotores do ciclo Diesel (Revogada pela Resolução CONAMA nº 418/ 2009).
Resolução CONAMA nº 291/2001	Regulamenta os conjuntos para conversão de veículos para o uso do gás natural e dá outras providências
Resolução CONAMA nº 315, de 2002	Dispõe sobre a nova etapa do PROCONVE (altera as Resoluções CONAMA nº 18/86 e nº 14/95).
Resolução CONAMA nº 342/2003	Estabelece novos limites para emissões de poluentes por ciclomotores, motocicletas e similares novos e dá outras providências (complementa a Res. nº 297/02).
Resolução CONAMA nº 403/2008	Dispõe sobre a nova fase de exigência do PROCONVE para veículos pesados novos (Fase P-7) e dá outras providências
Resolução CONAMA nº 415/2009	Dispõe sobre nova fase (L6) do PROCONVE para veículos automotores leves novos de uso rodoviário e dá outras providências
Resolução CONAMA nº 418/ 2009	Dispõe sobre critérios para a elaboração do Plano de Cont. de Poluição por Veículos em uso –PCPV e do Prog. de Inspeção e Manutenção para Veículos Automotores em Uso – I/M, e determina novos limites de emissão e avaliação de veículos em uso
Resoluções CONAMA nº 426/2010 nº 435/2011	Alteram a Resolução CONAMA nº 418/ 2009 estabelecem novos prazos aos PCPV e I/M
Resolução CONAMA nº 432/2011	Estabelece novas fases de controle de emissões de gases poluentes por ciclomotores, motocicletas e similares novos, dá outras providências (complementa a Res. nº 297/02)

Fonte: elaboração da autora

Além das Resoluções do CONAMA, outras regras formais acerca da regulamentação da emissão de poluentes por fontes móveis no Brasil foram expedidas pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais – IBAMA. A seguir serão mostradas algumas Portarias e Instruções normativas que contribuem ao PROCONVE/PROMOT (quadro 7).

Quadro 7 - Legislação por Fontes Móveis – IBAMA

Legislação	Objeto
Portaria IBAMA nº 1.937/1990	Torna obrigatório licenciamento ambiental no IBAMA para as especificações, fabricação, comerc. e distribuição de novos combustíveis para uso no Brasil
Portaria IBAMA nº 85/1996	Estabelece que toda empresa que possuir frota própria de transporte movida a óleo Diesel, deverá adotar um Programa Interno de Autofiscalização da Correta Manutenção da Frota na Emissão de Fumaça Preta.
Portaria IBAMA nº 86/1996	Regulamenta os procedimentos para importação de automóveis e motocicletas, requisitos do PROCONVE (complementada pela Port. IBAMA nº 167/1997)
Portaria IBAMA nº 80/2006	Regulamenta obtenção de Licença para veículos, motores ou máquinas (LCVM) em pequena quantidade
Instrução Normativa IBAMA nº 15/2002	Dispõe sobre obtenção do Certificado de Conformidade de Conjunto de Componentes do Sistema de Gás Natural, junto ao PROCONVE
Instrução Normativa IBAMA nº 17/2002	Dispõe sobre obtenção da Licença para uso da Configuração de Motos para ciclomotores, motocicletas e veículos similares no PROMOT
Instrução Normativa IBAMA nº 25/2002	Institui Selo de Homologação PROCONVE/ PROMOT, fabricantes e importadores de automóveis (complementada pela IN IBAMA 53/04)
Instrução Normativa IBAMA nº 28/2002	Estabelece procedimentos para realização de ensaios de emissão, para fins de homologação de veículos movidos a Gasolina e Álcool
Instrução Normativa IBAMA nº 54/2004	Regulamenta a medição dos hidrocarbonetos não metano – NMHC
Instrução Normativa IBAMA nº 55/2004	Regulamenta a aplicação dos ciclos ESC e ELR para homologação de motores do ciclo Diesel.
Instrução Normativa IBAMA nº 127/ 2006	Regulamenta a publicação na rede Mundial de Computadores dos valores de ruído na condição parado e índice de fumaça em aceleração
Instrução Normativa IBAMA nº 23/2009	Dispõe sobre a especificação do Agente Redutor Líquido de NOx para aplicação nos veículos com motorização do ciclo Diesel
Instrução Normativa IBAMA nº 06/2010	Estabelece requisitos para regulamentar procedimentos de avaliação de manutenção de veículos em uso para Prog. de Inspeção Veicular

Fonte: elaboração da autora

Ao verificar os quadros acima é possível observar a evolução das regras formais, a partir, principalmente, da década de 1980, acompanhando a tendência das instituições

ambientais. Além de criarem as instituições ambientais por meio de Leis e Resoluções, as regras formais têm se tornado mais abrangentes e punitivas, com mecanismos de controle e sanções administrativas.

Diversos são os objetos propostos por essa ampla legislação brasileira acerca da qualidade ambiental e controle da poluição em sentido amplo e do controle de emissões por fontes móveis. A regulação se dá de diversas formas, são alguns exemplos a atualização programas de controle ambiental já existentes, a imposição de limites máximos de emissão de poluentes por fontes móveis, a obrigatoriedade de certificados e licenciamentos, o estabelecimento de critérios para planos de controle de poluição e inspeção de veículos e a promoção de estudos de impacto ambiental.

Vê-se, portanto, que o controle da poluição do ar, seja no sentido da qualidade ambiental e controle da poluição em sentido amplo ou no controle de emissões por fontes móveis, está amplamente regulamentado pela legislação brasileira, e várias são as Instituições e instrumentos de amparo.

5 METODOLOGIA

Foram utilizados dois tipos de pesquisa para tratar da problemática sugerida neste trabalho: a exploratória, no sentido de que há informações levantadas acerca dos modais de transporte urbano brasileiro; e descritiva, uma vez que é descrito o fenômeno da mobilidade urbana pela ótica do metabolismo social.

Dentro do estudo do Metabolismo Social, neste trabalho, o âmbito de análise é de matéria e energia, uma vez que, segundo a Resolução CONAMA nº 3, de 28/06/1990 (BRASIL, 1990), poluente atmosférico é “qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos [...]”. Já a metodologia será utilizada para análise da excreção dos modais de transporte urbano.

Ainda neste trabalho, dentro da análise tridimensional do processo metabólico, dimensão, escala e tempo, são comparadas as emissões de poluentes atmosféricos dos modais de transporte urbano brasileiro. A dimensão de análise é fracionada, uma vez que é focada no processo de excreção, na análise da emissão de poluentes atmosféricos, dentro do campo de estudo urbano, já que é feito um comparativo dos modais de transporte urbano. O estudo refere-se, ainda, à escala nacional, por meio de indicadores agregados brasileiros. O período de tempo analisado será entre 2010 e 2016, mediante dados fornecidos pela ANTP e por Carvalho (2011a).

É feita uma análise dos modais de transporte urbano utilizados amplamente no Brasil, por meio dos dados agregados nacionais estimados pelo Sistema de Informações da Mobilidade Urbana da Associação Nacional de Transportes Públicos (Simob/ANTP). Além disso, foram utilizados dados de Carvalho (2011a) desenvolvidos pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). Tais fontes utilizaram dados primários, formados por pesquisas domiciliares, além de dados secundários para comporem seus trabalhos, foram eles da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), da Associação Brasileira de Energia Nuclear (ABEN) e da Agência Nacional do Petróleo (ANP).

Dessa forma, esta pesquisa é documental, com dados fornecidos pelos relatórios da ANTP e por Carvalho (2011a) e eletrônica, por meio dos sites, também da ANTP. A análise dos dados é qualitativa, na medida em que cada modal de transporte urbano é caracterizado

juntamente com uma análise de conteúdo, por meio dos indicadores quantitativos agregados fornecidos pelo Simob/ANTP e por Carvalho (2011a).

Por intermédio desses dados e do referencial teórico estudado, os cinco processos do metabolismo social (apropriação, transformação, distribuição, consumo e excreção) são descritos com o foco, principalmente, na comparação do nível de excreção de cada modal de transporte urbano brasileiro, por meio dos indicadores de emissão de poluentes atmosféricos.

5.1 Dados do Simob/ANTP

O Simob/ANTP foi desenvolvido nos anos 2004 e 2005 pela ANTP, com apoio do BNDES. A partir deste trabalho, a ANTP publica relatórios anuais que são referência para as pessoas que estudam o tema da mobilidade urbana no Brasil – 35% das dissertações de mestrado e das teses de doutorado apresentadas sobre o tema nos centros de transporte em universidades federais usaram dados do Simob/ANTP, assim como muitos documentos governamentais (ANTP, 2018b).

A metodologia do Simob/ANTP, desde 2015, é feita com pesquisas de mobilidade realizadas em grandes cidades do Brasil. Para estimar a demanda, a base de dados de referência para o estudo foi formada por pesquisas domiciliares de quatro regiões metropolitanas e um município de porte médio. Tais dados permitem a tabulação dos indicadores por município e sua correlação estatística com suas características demográficas, sociais e econômicas, de modo a gerar funções matemáticas aplicáveis a outros municípios a partir das variáveis selecionadas. Na tabela 2 foram relacionadas as informações de fontes e anos de referência da base de dados (ANTP, 2018a).

Segundo a ANTP, essas regiões metropolitanas (tabela 2) foram escolhidas pelas seguintes razões: possuem pesquisas com a mesma metodologia e que foram realizadas nos últimos doze anos; têm consulta pública das fontes de dados; e os municípios têm características distintas. No total, estas regiões abrangem 83 municípios e uma população aproximada de 30,9 milhões de habitantes que, conforme projeções do IBGE para 2017, correspondem a 15% da população brasileira (ANTP, 2018a).

Tabela 2 - Base de Dados da ANTP

Base de dados	Ano Referência	Organismo
Região Metropolitana de São Paulo	2007	Companhia Metropolitana de São Paulo
Região Metropolitana de Campinas	2011	Secretaria de Estado dos Transportes Metropolitanos (STM)
Região Metropolitana de Salvador	2012	Secretaria de Infraestrutura e Transporte da Bahia
Região Metropolitana de Natal	2006	Departamento de Estradas de Rodagem do Rio Grande do Norte (DER/RN)
Região Metropolitana de Ribeirão Preto	2011	Prefeitura Municipal de Ribeirão Preto

Fonte: elaboração da autora com dados da ANTP (2018a)

Com tal base de dados, foram aplicados métodos estatísticos utilizados na análise das taxas de mobilidade (total, automóvel, motocicleta, transporte público, a pé, bicicleta) calculadas a partir dessas pesquisas de Origem Destino selecionadas. Para entender o comportamento das taxas de mobilidade de cada município, alguns dados secundários disponíveis que pudessem identificar possíveis relações com as taxas de mobilidade foram coletados: área do município (km²); população do município; PIB do município; arrecadação do ICMS do município; índice IDH do município; total de veículos (automóveis, caminhões, motocicletas e ônibus).

A partir destes dados secundários, novas variáveis auxiliares foram construídas pela ANTP. Dentre elas, algumas utilizadas neste estudo são: % de automóvel; % de motocicleta; veículo/1.000 km²; veículo/habitante; motocicleta/habitante; ano.

Os métodos estatísticos empregados na análise de taxas de mobilidade pela ANTP (2018a) foram: estatísticas descritivas por meio dos gráficos *box-plot* e modelos de regressão pelo procedimento *stepwise* que foram ajustados para cada taxa de mobilidade. Dessa forma, estas funções permitiram gerar um grande conjunto de dados sobre a mobilidade urbana nas cidades que possuíam mais de 60 mil habitantes no Brasil no ano de 2014.

A metodologia foi aplicada para dados referentes ao período de 2010-2014, tendo-se assim dados de quantidade de viagens anuais por modo agregado. O resultado de tais métodos é um conjunto de municípios que integra o sistema de informações da mobilidade da ANTP, contendo 533 municípios (todos que possuíam população acima de 60 mil habitantes no ano de 2014).

Os dados analisados neste trabalho são do total de tais municípios com as características socioeconômicas do ano de 2016, compreendendo 65% do total da população brasileira. A divisão por modal se dá da seguinte forma: metrô, ônibus, automóvel, motocicleta, a pé e por bicicleta.

5.2 Cálculo da Emissão de Poluentes Atmosféricos

Para estimar a emissão de poluentes por fontes móveis por modais de transporte urbano brasileiro, os poluentes locais considerados pela ANTP são os seguintes: CO (monóxido de carbono), HC (hidrocarbonetos), NO_x (óxidos de nitrogênio), SO₂ (dióxido de Enxofre) e MP (material particulado) conforme definição da Cetesb/SP¹. Por ser movido a energia elétrica, o metrô não emite poluentes locais, ocasionado pela queima de combustíveis.

No caso dos gases do efeito estufa (GEE) foi considerado pela ANTP (2018a) o CO₂eq (CO₂, CH₄ e N₂O). As quantificações dessas emissões são fornecidas por pesquisas feitas pela CETESB¹, considerando peso 1 para o CO₂, peso 21 para o CH₄ e peso 310 para o N₂O, além de considerar que 1% do potencial de emissão do CO₂ não é efetivamente gerado.

Tais poluentes (locais e atmosféricos) são analisados por modal de transporte brasileiro por meio de um indicador agregado, considerando todo o universo da ANTP (2018a), independente das características de cada município (porte, tecnologia aplicada nos modais, renda per capita etc).

A ANTP não incluiu os metrôs no seu cálculo de emissão de GEE. Entretanto o metrô é um meio de transporte público de alta capacidade, não emissor de poluentes locais e presente em 12 Unidades de Federação atualmente. Dessa forma, foi necessário utilizar a metodologia de Carvalho (2011), que calculou as emissões baseadas em sistemas elétricos, além das emissões ocasionadas pela queima de combustível.

¹ A metodologia utilizada para estimar as emissões foi baseada no 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários, desenvolvida pelo Ministério do Meio Ambiente, publicada em 2011 (CETESB, 2017a).

O documento do IPEA, feito por Carvalho (2011a), apresenta uma metodologia de cálculo das emissões relativas de gases de efeito estufa com base nas emissões unitárias médias dos veículos automotores, além do índice de CO₂ emitido por passageiro por quilômetro (epkm). O poluente global escolhido por Carvalho (2011a) é o dióxido de carbono (CO₂), que serve também como unidade de equivalência para os demais GEE.

O autor utilizou valores médios dos levantamentos dos sistemas internacionais existentes sobre os fatores de emissões de CO₂ por tipo veicular, considerando a matriz elétrica brasileira, muito mais limpa do que as europeias ou americanas. As fórmulas adiante foram utilizadas para calcular esse fator para os sistemas metroferroviários brasileiros:

$$\mathbf{EmissõesSEB} = \sum_i^n (efi \times pfi) \quad \mathbf{(I)}$$

Sendo, SEB= emissões de CO₂ do sistema elétrico brasileiro (g/kWh)

efi = emissões da fonte energética *i* (g/kWh)

pfi = participação proporcional na matriz elétrica brasileira da fonte *i*

Por meio dos dados da ABEN, Carvalho (2011a) chegou ao quantitativo de emissões do sistema elétrico brasileiro. Para o cálculo das emissões por fonte energética para os demais modais, Carvalho (2011a) obteve as taxas de emissões de CO₂ equivalente na queima de cada combustível, somado às taxas de emissões para produção e distribuição desse mesmo combustível.

A partir de uma análise estequiométrica, Carvalho (2011a) calculou uma relação de CO₂ emitido por unidade volumétrica de combustível, considerando uma queima completa do combustível. Como a queima é incompleta, há emissão de outros poluentes, entre eles GEE, como o NO_x. Por isso, utilizou o conceito de quantidade de CO₂ equivalente emitido, a seguir:



Considerando a massa dos elementos:

$$(12 \times 8 + 1 \times 18) + 12,5(16 \times 2) = 8(12 + 16 \times 2) + 9(2 \times 1 + 16)$$

$$(114\text{g C}_8\text{H}_8) + (400\text{g O}_2) = (352\text{g CO}_2) + (162\text{g H}_2\text{O})$$

A partir da composição das massas dos elementos químicos, considerando: a densidade da gasolina; o percentual das emissões não renováveis de CO₂ no ciclo de vida do etanol em relação às emissões de veículos a gasolina; a taxa de emissão anterior ao uso (correspondente à produção e distribuição do combustível); o mix de uso de álcool e gasolina obtido no anuário da ANP (2009); e ainda o rendimento dos carros movidos a álcool e a gasolina (km/l), Carvalho (2011a) fez a seguinte fórmula para calcular o fator de emissão de CO₂ de cada veículo²:

$$F_{vei} = \sum f_{ri_comb}(i) \times emissões(i) \quad (\text{III})$$

Sendo,

F_{vei} = fator de emissão do veículo considerado

$f_{ri_comb}(i)$ = percentual de mistura do combustível i

$emissões(i)$ = emissões quilométricas do combustível i

Feito isso, Carvalho (2011a) encontrou o rendimento quilométrico (ekm) de cada modal, dividindo as emissões por fonte energética (kg de CO₂ ou kWh) pelo rendimento energético (km/l ou km/kWh), chegando ao fator kg de CO₂ por km.

Para determinar quais modais emitem maiores ou menores níveis de poluentes em termos de capacidade e “produtividade”, a partir dos dados de emissões quilométricas e da capacidade de transporte, Carvalho (2011a) calculou as emissões por passageiro por quilômetro percorrido (epkm) da seguinte forma:

² Carvalho (2011a) desconsiderou-se o uso de gás natural veicular (GNV) em função do seu baixo consumo no país, assim como a mistura de biodiesel no diesel.

$$Epkm(i) = \frac{Ekm(i)}{Oc(i)} \quad (\text{IV})$$

$Epkm(i)$ = emissões por passageiro quilômetro do modal i (kg de CO₂/pass.km)

$Ekm(i)$ = emissões quilométricas de carbono do modal i (kg de CO₂/km)

$Oc(i)$ = ocupação média do modal i (passageiros)

Carvalho (2011a) considerou a seguinte ocupação média por modal: 80 pessoas por ônibus, 900 por modal sobre trilhos, 1,5 por automóvel e 1 por moto. Para calcular o epkm referente aos poluentes locais foi utilizado esta mesma fórmula com o banco de dados da ANTP, com fonte da Cetesb (2010). Entretanto, a ocupação média considerada pela ANTP é diferente da de Carvalho (2011). No cálculo do epkm da ANTP foi considerada a ocupação média seguinte: 1,4 passageiros nos automóveis, 30 nos ônibus e 1,1 nas motos.

Dessa forma, utilizando-se da fórmula do epkm foi preciso fazer uma pequena adaptação para tornar os epkm locais e globais compatíveis. A ocupação média por modal considerada neste trabalho foi a de Carvalho (2011a) para calcular o epkm tanto dos poluentes globais, feito por Carvalho (2011a), quanto dos locais, feito pela ANTP.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Antes de analisar a emissão de poluentes atmosféricos dos modais de transporte urbano brasileiro, é preciso encaixá-lo dentro dos fluxos metabólicos do transporte urbano no processo como um todo. A apropriação, dentro dessa análise, se dá na extração de matéria-prima na natureza, seja ela de cana-de-açúcar ou petróleo, por exemplo (para a produção de combustível) ou ainda de água ou carvão (para a produção de energia elétrica).

Feito isso, há o processo de transformação, que consiste na produção do combustível/energia elétrica a partir da matéria-prima extraída. Logo então, ocorre a distribuição, o processo que leva o produto final aos transportes urbanos, seja ela até os postos de combustível ou fornecimento final de energia elétrica. O Consumo se dá no uso do combustível/ energia elétrica, que se transformarão em energia para que os meios de transporte se movam. O último processo, o de Excreção, ocorre com a emissão de poluentes atmosféricos (locais e globais).

Como já foi dito por Toledo (2013), a principal questão está exatamente na qualidade e na quantidade desses resíduos, por isso é o processo mais dependente dos anteriores (apropriação, transformação, distribuição e consumo) e que necessita de novos processos metabólicos para eliminação ou armazenamento desses resíduos.

É preciso que se tenha clareza, então, do nível de excreção provocado pelo metabolismo social de cada modal de transporte urbano. Dessa forma, a escolha pelo modal (seja a nível individual ou por meio de políticas públicas) deve se passar pela análise do impacto, ou seja, daquele modo de transporte que consuma recursos naturais de forma mais eficiente (tenha um baixo nível de consumo comparado aos outros ou que utilize fontes de energia limpas) e, conseqüentemente, emita menos poluentes atmosféricos (retorne para a natureza um baixo menor de excreção).

Antes de chegar à análise da emissão de poluentes atmosféricos de cada modal de transporte urbano brasileiro, é preciso entender o universo que foi estudado: a frota existente, as viagens realizadas e a ocupação média de cada modal. De acordo com os dados da ANTP (2018b)³, considerando o ano de 2016, é possível ver na tabela 3 que as frotas dos modais

³ Frota total de veículos em circulação (Fonte: Denatran, com fator de ajuste da ANTP, considerando que parte da frota registrada não circula, utilizando curvas de sucateamento de veículos).

que serão analisados são: 115.613 ônibus (municipal + metropolitano), 4383 veículos sobre trilhos, 29 milhões de autos e 9,8 milhões de motos.

Tabela 3 – Frota dos Modais Motorizados, 2016

Modal	Frota
Ônibus (municipal + metropolitano)	115.613
Trilhos	4.383
Auto	28.972.400
Moto	9.836.120

Fonte: elaboração da autora com dados da ANTP (2018b)

A população do conjunto de municípios que compõem o universo do Simob/ANTP fez, em 2016, o total de viagens para cada modal motorizado: 15,9 bilhões em ônibus, 2,4 bilhões em trilhos, 16,2 bilhões em autos, 2,7 bilhões em motos. Além disso, há outras duas formas de deslocamento que não geram emissão de poluentes, locais e GEE, a pé, com 26,4 bilhões de viagens e bicicleta, com 1,6 bilhões (tabela 4).

Tabela 4 – Viagens Realizadas, 2016

Modal	Viagens/ano (bilhões)
Ônibus	15,9
Trilhos	2,4
Auto	16,2
Moto	2,7
A pé	26,4
Bicicleta	1,6
Total	65,3

Fonte: elaboração da autora com dados da ANTP (2018b)

A tabela 5 tem os dados de ocupação média desses modais que, segundo Carvalho (2011), se dá da seguinte forma na unidade passageiros por veículo: 80 pessoas por ônibus, 900 por modal sobre trilhos, 1,5 em automóveis e 1 em motos. A partir de tais dados, e sem considerar a poluição atmosférica, já é possível comparar os modais privados com os públicos.

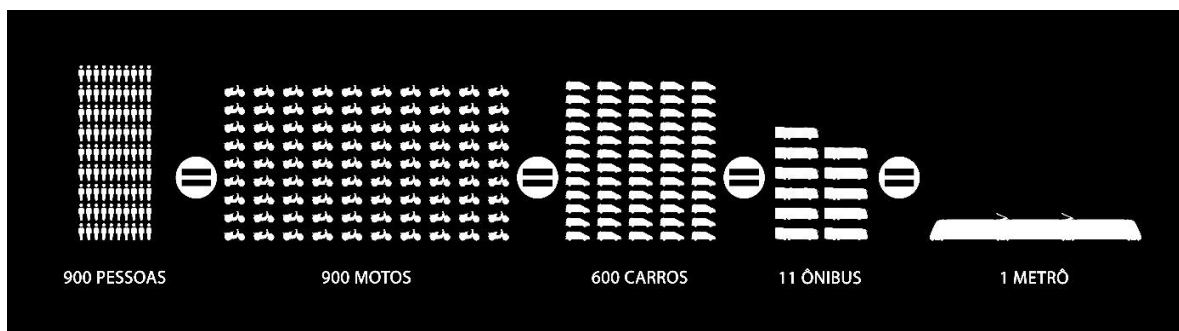
Tabela 5 – Ocupação Média dos Modais de Transporte Urbano Brasileiro

Modal	Ocupação média (Oc)	Índice de ocupação (trilhos=1)
Ônibus	80	11
Trilhos	900	1
Auto	1,5	600
Moto	1	900

Fonte: elaboração da autora com dados de Carvalho (2011)

Considerando a ocupação média (tabela 5), é visivelmente maior a poluição sonora (ruídos gerados pelos veículos) e a intrusão visual (degradação da paisagem urbana) dos modais privados comparados aos transportes públicos nos grandes centros urbanos. A figura 3 exibe a quantidade de cada modal de transporte necessário para transportar 900 pessoas, a média transportada em uma viagem média de metrô. Para tal são necessárias 11 ônibus, 600 carros ou 900 motos.

Figura 3 – Ocupação dos Modais de Transporte Urbano Brasileiro



Fonte: elaborado pela autora com dados de Carvalho (2011a)

Nota: A ocupação média de um metrô (=900 pessoas) foi dividida pela ocupação média de cada modal.

Partindo para a análise do nível total de excreção, a emissão de poluentes atmosféricos locais (CO, HC, NOx, SO2 e MP) provocada pelo fluxo metabólico dos modais de transporte urbano brasileiro, verifica-se que, em 2016, no universo da ANTP (2018b), os veículos usados pelas pessoas emitiram 161 mil toneladas de poluentes locais nos seus deslocamentos, como é possível ver na tabela 6. Os ônibus foram os maiores emissores, emitindo 93.380 toneladas de poluentes locais no ano (58%). Logo em seguida, os automóveis emitiram 49.910 t/ano (31%) e por último as motos, responsáveis pela emissão de 17.710 t/ano (11%). Os modais sobre trilhos não emitem poluentes locais por terem a energia elétrica como fonte de consumo.

Tabela 6 – Emissão Anual de Poluentes Atmosféricos Locais, 2016

Modal	Emissão de Poluentes Locais (t/ano)	Percentual de Emissão (%)
Ônibus	93.380	58
Auto	49.910	31
Moto	17.710	11
Total	161.000	100

Fonte: elaborado pela autora com dados de ANTP (2018a)

Ao analisar a emissão de GEE⁴ em milhões de toneladas ao ano, em 2016, no universo da ANTP (2018), a tabela 7 mostra que os automóveis foram os maiores poluentes nesse sentido, gerando 21,172t. Logo em seguida estão os ônibus que emitiram 9,164t e por último as motos, emitindo 1,264t. Os metrô não entraram nesses dados da ANTP (2018b) e por isso, mais adiante, será analisada a emissão de GEE calculada por Carvalho (2011).

Tabela 7 – Emissão Anual de Poluentes Atmosféricos Globais (GEE), 2016

Modal	Emissão de Poluentes Globais (t/ano)	Percentual de Emissão (%)
Ônibus	9,16	29
Auto	21,17	67
Moto	1,26	4
Total	31,59	100

Fonte: elaborado pela autora com dados de ANTP (2018a)

⁴ CO₂eq (CO₂, CH₄ e N₂O), considerando peso 1 para o CO₂, peso 21 para o CH₄ e peso 310 para o N₂O, além de considerar que 1% do potencial de emissão do CO₂ não é efetivamente gerado (ANTP,2018a).

Entretanto, o olhar a nível absoluto das emissões de poluentes atmosféricos não permite determinar quais modais emitem maiores ou menores níveis de poluentes em termos de capacidade e “produtividade”. Só a partir da comparação da emissão por passageiro por quilômetro (epkm) é possível inferir quais modais são mais eficientes nos centros urbanos.

Segundo Carvalho (2011a):

A quantificação relativa das fontes móveis de emissão dos principais poluentes é fundamental para a formulação das políticas públicas ambientais e de gestão de transporte e trânsito que busquem resultados mais efetivos no controle das emissões, focando nos maiores agentes poluidores (CARVALHO, 2011a; p. 7).

A relativização permite analisar o nível de excreção do metabolismo social urbano no uso do transporte urbano de uma pessoa em cada modal. Dessa forma, é possível embasar as políticas públicas sob a ótica do metabolismo social, no sentido de reduzir a emissão de poluentes globais e locais, mantendo os deslocamentos necessários às pessoas e melhorando a mobilidade urbana.

As emissões comparativas de poluentes locais relativos aos modais de transporte urbano brasileiro foram feitas baseadas na quantidade de gramas emitidos ao transportar um passageiro por um quilômetro. Por meio dos dados da CETESB (2010), a ANTP (2015) calculou o epkm dos ônibus, dos automóveis e das motos, modais responsáveis pela emissão desses poluentes.

Fazendo a alteração do epkm da ANTP (2015), considerando a ocupação média proposta por Carvalho (2011a), foi possível chegar aos seguintes valores, conforme mostra a tabela 8: o ônibus emite em menor grau, apenas 0,16 gramas de epkm; já os números dos automóveis são muito maiores, chegam a 2,4g dessas emissões unitárias, valor menor que o das motos, igual a 5,17g de emissões por passageiro/km. Ao colocar as emissões dos ônibus com índice igual a um, é possível perceber que os automóveis emitem 14,9 vezes mais por passageiro por quilômetro e as motos chegam a ser 32,1 vezes mais poluentes em termos de emissões locais/pass.km.

Tabela 8 – Emissão de Poluentes Locais por Passageiro por Quilômetro (Epkm)

Modal	Epkm de Poluentes Locais (g/pass.km)	Índice de Epkm
Ônibus	0,16	1
Auto	2,40	14,9
Moto	5,17	32,1

Fonte: elaborado pela autora com dados de ANTP (2015) e Carvalho (2011)

Para analisar as emissões de GEE⁵ por passageiro por quilômetro rodado foi considerada a metodologia de Carvalho (2011a). Ele incluiu o metrô, além dos modais ônibus, automóvel e moto, analisados anteriormente. E, dessa forma, precisou calcular as emissões de CO₂ do sistema elétrico brasileiro para chegar às emissões de poluentes atmosféricos dos sistemas metroferroviários brasileiros.

A partir dos dados da Associação Brasileira de Energia Nuclear (ABEN), contidos na tabela 9, aplicando a fórmula I, Carvalho (2011a) e chegou ao valor de 87 g de CO₂/Kwh emitidos pelos metrôs e trens elétricos do país.

$$\text{EmissõesSEB} = \sum_i^n (efi \times pfi) = 87\text{g de CO}_2/\text{kWh}$$

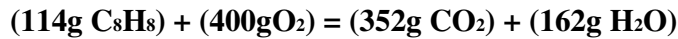
Tabela 9 – Emissão de CO2 do Sistema Elétrico no Brasil

Fonte	Emissão Média (g/Kwh)
Nuclear	19
Hidrelétricas	20
Eólica	24
Solar	147,5
Gás Natural	521,5
Óleo Combustível	748
Carvão	1035,5

Fonte: elaborado pela autora com dados de Carvalho (2011a)

⁵ O poluente global escolhido por Carvalho (2011a) foi o dióxido de carbono (CO₂), que serve também como unidade de equivalência para os demais GEE.

Para os demais modais, Carvalho (2011a) utilizou o conceito de quantidade de CO₂ equivalente emitido e considerando a massa dos elementos, conforme metodologia, chegou-se aos seguintes resultados:



Da composição das massas dos elementos químicos, têm-se as seguintes relações: 1 g de gasolina pura queimada gera 3,08 g de CO₂ (352/114). Considerando a densidade da gasolina pura de 0,740 kg/l, chega-se na quantidade de 2,28 kg de CO₂/l de gasolina. Adicionando 0,5 kg de CO₂ a título de produção e distribuição do combustível, tem-se uma taxa de cerca de 2,8 kg de CO₂/l de gasolina.

Carvalho (2011a) considerou uma relação de 20% de emissões não renováveis de CO₂ no ciclo de vida do etanol em relação às emissões de veículos a gasolina, chegando a 0,56 Kg de CO₂/l de álcool. Já as médias de rendimento usada foi 10 km/l nos carros a gasolina e 7 km/l nos veículos a álcool.

Para o cálculo das emissões dos automóveis, Carvalho (2011a) considerou-se um mix de uso de 47% de álcool e 53% de gasolina C, obtido no anuário da Agência Nacional do Petróleo (ANP, 2009), enquanto para motocicletas foi utilizado o mix de 22% de álcool e 78% de gasolina no combustível utilizado.

Dessa forma, para o cálculo de emissões médias dos automóveis e motocicletas que circulam no Brasil, chegou-se aos seguintes valores:

$$F(\text{automóvel}) = 0,47 \times 0,56 + 0,53 \times 2,8 = 1,75 \text{ kg de CO}_2/\text{l}$$

$$F(\text{motocicleta}) = 0,78 \times 2,8 + 0,22 \times 0,56 = 2,3 \text{ kg de CO}_2/\text{l}$$

Sendo, F= fator de emissão de CO₂/l

Feito isso, faltou apenas o modal ônibus, movido a diesel, combustível que emite mais CO₂ por unidade de volume ou peso em relação aos demais modais motorizados movidos a álcool e gasolina. Segundo Carvalho (2011a), o ônibus tem um fator de emissão médio de 2,6 kg de CO₂ para cada litro de diesel queimado na combustão, que somado com

o valor médio de 0,5 kg de CO₂ emitidos para produzir e distribuir o combustível, chegou-se a uma taxa de emissão média de 3,2 kg de CO₂/l de diesel.

Considerando os seguintes rendimentos energéticos dos modais, 2,5 km/l dos ônibus, 0,028 km/kWh dos metrô, 8,5 km/l dos carros e 30 km/l das motos, chega-se às emissões por quilômetro, como é possível ver na tabela 10. O modal sobre trilhos é o maior emissor por km rodado, emitindo 3,16 kg de CO₂/km. Em seguida vem os ônibus, emitindo 1,26 kg de CO₂ por km, os carros com 0,19 kg de emissão de CO₂/km e por último as motos, com 0,07 kg de CO₂ por quilômetro (tabela 10).

Tabela 10 – Emissão de CO₂ por Quilômetro (Ekm)

Modal	Rendimento Energético km/l ou km/kWh (A)	Emissão por Modal (kg) CO₂/l ou kWh (B)	Ekm (Kg) CO₂/km (B/A)
Ônibus	2,5	3,200	1,28
Trilhos	0,028	0,087	3,16
Auto	8,5	1,747	0,19
Moto	30	2,307	0,07

Fonte: elaborado pela autora com dados de Carvalho (2011a)

Entretanto, é preciso considerar a ocupação média de cada modal para chegar ao epkm. Ao comparar tais emissões de CO₂ é possível verificar, na tabela 11 que o automóvel é o maior emissor, gerando 126,8g de GEE a cada passageiro transportado por um quilômetro, logo em seguida estão as motos com 71,1g epkm.

Tabela 11 - Emissão de CO₂ por Passageiro por Quilômetro (Epkm)

Modal	Epkm de CO₂ (g/pass.km)	Índice de Epkm
Ônibus	16,0	4,5
Trilhos	3,5	1
Auto	126,8	36,2
Moto	71,1	20,3

Fonte: elaborado pela autora com dados de Carvalho (2011a)

Ainda na tabela 11, é possível verificar os modais menos poluentes em termos de epkm, são eles os meios de transporte públicos e coletivos. O ônibus emite apenas 16g de

CO₂ /pass.km e por fim está o metrô, meio de transporte com menor grau de emissão por passageiro por quilômetro, gerando apenas 3,5g de epkm.

Por meio da comparação em índices e considerando o metrô=1 (tabela 11), percebe-se que os ônibus geram 4,5 vezes mais GEE. Já nos transportes privados, o automóvel emite 36,2 vezes mais CO₂, enquanto que as motocicletas 20,3 vezes o emitido pelo metrô.

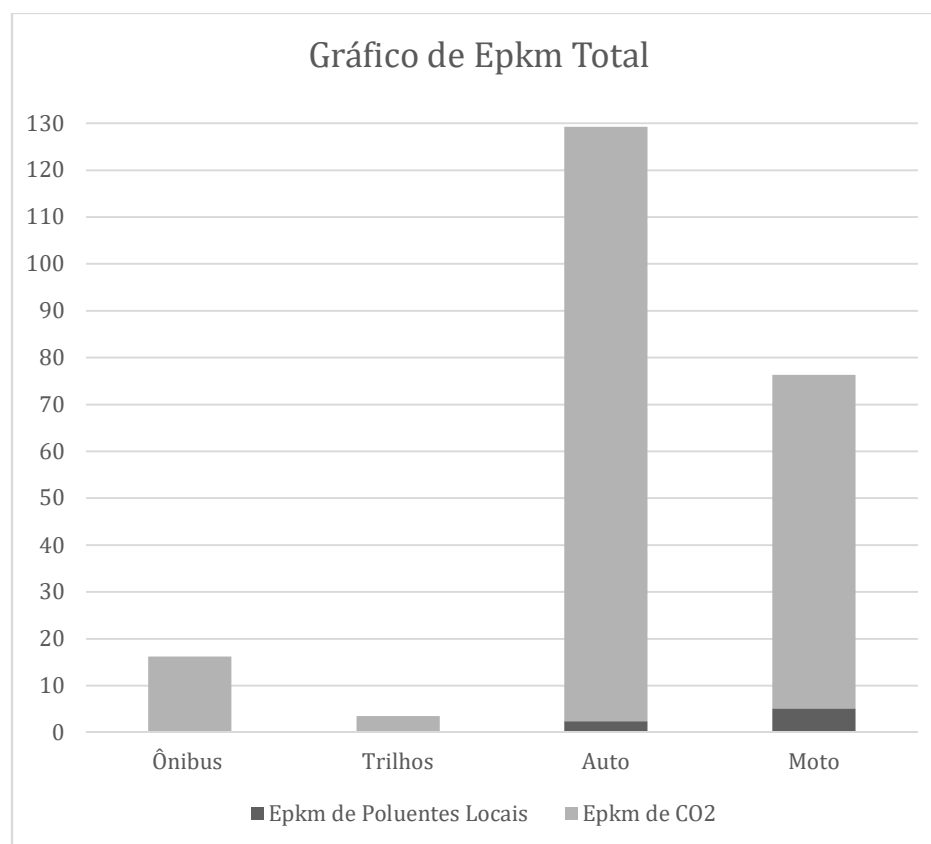
Para comparar o modal mais eficiente em termos de emissão atmosférica total por passageiro por quilômetro, foi somado o epkm dos poluentes locais com os globais, em g/pass.km (tabela 12).

Tabela 12 – Emissão de Poluentes Totais por Passageiro por Quilômetro (Epkm)

Modal	Epkm de Poluentes Locais (g/pass.km)	Epkm de CO₂ (g/pass.km)	Epkm Total (Locais + CO₂)
Ônibus	0,16	16,0	16,16
Trilhos	-	3,5	3,5
Auto	2,40	126,8	129,2
Moto	5,17	71,1	76,27

Fonte: elaborado pela autora com dados de ANTP (2015) e Carvalho (2011)

É possível verificar no gráfico 1 que o metrô é a melhor opção nesse sentido. Ele emite apenas 3,5g por passageiro/km e logo em seguida estão os ônibus, emitindo 16,16 g/pass.km. Ainda no gráfico 1, nota-se que os valores de emissão muito maiores estão nos modais de transporte privados e motorizados. Os automóveis são os mais poluentes, emitindo 129,2g/pass.km e, logo em seguida, estão as motos com 76,27 gramas por passageiro/km.

Gráfico 1 - Emissões por Passageiro por Quilômetro Total - Epkm (g/pass.km)

Fonte: elaboração da autora com dados de ANTP (2015) e Carvalho (2011)

Observando a tabela 13, é possível comparar os modais mediante índice de epkm total, com metrô=1. Os ônibus emitem 4,6 mais vezes que o metrô, já os carros e as motocicletas chegam a emitir 36,9 e 21,8 vezes mais poluentes atmosféricos, respectivamente.

Tabela 13 - Emissão de Poluentes Totais por Passageiro por Quilômetro - Índice

Modal	Epkm Total (g/pass.km)	Índice de Epkm Total
Ônibus	16,16	4,6
Trilhos	3,5	1
Auto	129,2	36,9
Moto	76,27	21,8

Fonte: elaboração da autora com dados de ANTP (2015) e Carvalho (2011)

Corroborando com o que mostram os dados de emissão de poluentes atmosféricos provocados pelos modais de transporte urbano brasileiro, Carvalho (2011a) considera que a melhor política de redução das emissões dos GEE passa pelo estímulo e pela melhoria dos sistemas de transporte público coletivo – em especial, os sistemas elétricos.

Diante de tal cenário, o Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa - SEEG (2017) fala que a reversão das emissões do setor de transportes é um desafio no sentido de avançar na adoção de um conjunto de medidas que, ao mesmo tempo em que reduza as emissões de GEE, amplie o acesso das pessoas às oportunidades que as cidades oferecem. O SEEG (2017), considera, então, de duas alternativas, complementares entre si: as inovações tecnológicas nos veículos; evitar as viagens de modal individual motorizado ou transferi-las para modal de transporte público, e, se possível, não motorizado.

Comprovando a premissa de que inovações tecnológicas podem reduzir o nível de excreção nos modais de transporte urbano brasileiro, foi feito um estudo por Lustosa et al. (2018) por meio de simulação de emissões atmosféricas de poluentes da frota urbana de ônibus movidos a diesel. Na simulação feita para adoção de tecnologias mais limpas disponíveis, os poluentes atmosféricos reduziram significativamente, chegando a 51,3% no caso dos hidrocarbonetos.

Nesse sentido, segundo Carvalho (2011b), as decisões políticas poderiam direcionar para um uso mais racional dos veículos privados, via melhoria dos sistemas coletivos públicos e restrições de circulação destes veículos em situações específicas de agravamento das externalidades à sociedade, como poluição, congestionamentos e mortes.

Segundo Acselrad (1999), a noção de sustentabilidade no espaço urbano tem adicionado diversas representações para a gestão das cidades, desde a administração de riscos e incertezas ao incremento da “resiliência” – a capacidade adaptativa - das estruturas urbanas.

Nesse sentido, a compreensão de como financiar e gerar soluções sustentáveis para cidades deve ser um movimento contínuo e planejado de maneira integrada. Sobre isso, a ANTP fala, ainda:

É necessário pensar as cidades sustentáveis como um processo progressivo da implementação de critérios de sustentabilidade que exigem o reconhecimento de uma série de valores, atitudes e princípios tanto nas esferas públicas como privadas e individuais da vida urbana (ANTP, 2008, p. 148).

Conclui-se, então que uma saída para o alto nível de excreção provocado pelo metabolismo social do transporte urbano brasileiro é de o Governo incentivar, das mais diversas formas, o uso de modos de transporte mais limpos (aqueles com baixo nível de excreção). São eles os modais públicos, que por terem alta capacidade de ocupação, emitem baixo teor de poluentes atmosféricos locais e globais por passageiro por quilômetro, principalmente aqueles que não geram poluição local, como é o caso do metrô. Além deles, devem ser incentivados também os modais que não geram qualquer tipo de poluição atmosférica por serem não motorizados, o andar e o modal bicicleta, dois modais que ainda trazem benefícios à saúde.

É necessário, dessa forma, um marco legal bem estruturado, instituições capazes de controlar e fiscalizar a emissão de poluentes por fontes móveis, além de indicadores precisos, capazes de medir a emissão de poluentes por modal de transporte urbano. Dessa forma, é possível adotar políticas públicas capazes de melhorar a eficiência ambiental do transporte urbano, oferecendo mais qualidade com menos poluentes, melhorando, assim, a mobilidade urbana.

7 CONCLUSÃO

Esta dissertação conseguiu atingir seu objetivo geral ao analisar a emissão relativa de poluentes atmosféricos dos modais de transporte urbano brasileiro, acrescentando ao estudo do metabolismo social uma nova metodologia: análise da excreção dos modais de transporte urbano dentro do âmbito de fluxo de material e energia.

Tal objetivo foi cumprido devido a vários assuntos tratados neste trabalho, sendo um deles a revisão de literatura da economia ecológica e seu viés, o metabolismo social. Foram descritos o conceito, a evolução de tal vertente, os processos metabólicos, suas metodologias e aplicações. A partir da descrição dos processos metabólicos (apropriação, transformação, distribuição, consumo e excreção) foi possível entender a importância da excreção, devido à dependência de todos os outros. Essa revisão possibilitou a aplicação do metabolismo social com a escolha da excreção para análise da emissão de poluentes atmosféricos por fontes móveis.

Ao descrever os modais de transporte urbano, foi possível perceber suas grandes características, como ocupação média, fonte de consumo e poluentes atmosféricos emitidos. Conhecer cada modal e definir os poluentes atmosféricos amplamente utilizados como indicadores no Brasil foi necessário ao cálculo do nível de excreção, provocado pelo processo metabólico do transporte urbano brasileiro.

Outro tema abordado foi a descrição da Legislação brasileira acerca do controle de emissões de poluentes por fontes móveis. Viu-se que o controle da emissão de poluentes atmosféricos por fontes móveis está amplamente regulamentado pela legislação brasileira e várias são as Instituições e instrumentos de amparo. Tal marco legal facilita na adoção políticas públicas capazes de melhorar a eficiência ambiental do transporte urbano, reduzindo a excreção de cada modal.

Dessa forma, foi descrito o processo do metabolismo social em termos de transporte urbano, sendo possível partir para a análise do nível de excreção de poluentes atmosféricos de cada modal de transporte urbano brasileiro. Delimitou-se tridimensionalmente o processo metabólico do transporte urbano brasileiro. A dimensão foi fracionada a partir da análise da excreção dos modais de transporte, a escala foi nacional por meio dos dados agregados e o

tempo foi definido pelo período entre 2010 e 2016, todos fornecidos pela ANTP e por Carvalho (2011).

A partir de tais dados, foi possível comparar as emissões atmosféricas por passageiro por quilômetro (epkm) dos modais de transporte urbano brasileiro. O metrô foi o modal motorizado com menor nível de epkm total, seguido pelos ônibus. Já o nível de excreção dos modais motorizados individuais (carro e moto) foi extremamente maior, comparado aos modais públicos.

A análise da excreção de poluentes atmosféricos, globais e locais, permitiu concluir que os modais públicos ao terem alta capacidade de ocupação, têm baixo teor de emissão de poluentes locais e globais por passageiro por quilômetro, principalmente aqueles que não geram poluentes locais, como é o caso do metrô. Além, é claro, dos modais não motorizados, que não geram qualquer tipo de poluição atmosférica, como é o caso do andar e da modal bicicleta, dois modais que ainda trazem benefícios à saúde.

Nessa esfera, a partir das metodologias oferecidas pelos trabalhos da ANTP e de Carvalho (2011a), por meio dos indicadores de emissão de poluentes atmosféricos, foi possível inserir novas possibilidades de estudo do metabolismo social inserido no contexto do transporte urbano brasileiro. Como resultado, políticas públicas podem se apoiar nesse referencial com o intuito de tornar a mobilidade urbana mais sustentável.

BIBLIOGRAFIA

ACSELRAD, H. Discursos da Sustentabilidade Urbana. Revista Brasileira de Estudos e Regionais. Anpur, ano 1, nº 1, maio 1999, p.79-90.

ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO. Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis – 2009. Rio de Janeiro, 2009.

ALATPU - Asociación Latinoamericana de Transporte Público y Urbano. *Innovando para repensar en el transporte urbano*. Atas do XX Congresso Latinoamericano de Transporte Público e Urbano. 23 a 27 de julho de 2018. Medellín. ALATPU, 2018. 1361 p. Disponível em: camilonemo.com/assets/images/research/dataVisualization/plataformaGestionTransito/LibroCLATPU2018.pdf. Acesso em 03 de agosto de 2019.

ANDRADE, D. C. Economia e meio ambiente: aspectos teóricos e metodológicos nas visões neoclássica e da economia ecológica. Leituras de Economia Política, Campinas, p.1-31, 2008.

ANDRADE, D.C.; ROMEIRO, D.R.; DE MENDONÇA, T.G. Tendências do Metabolismo da Economia Brasileira: uma análise preliminar à luz da Economia Ecológica. REVIBEC Revista Iberoamericana de Economia Ecológica, p. 66-86, 2018.

ANTP - Associação Nacional de Transportes Públicos. Revista dos Transportes Públicos, Ano 30/31, p. 143 – 160, 2008.

ANTP - Associação Nacional de Transportes Públicos. Sistema. Apostila - Gestão da Mobilidade Urbana. SÃO PAULO: ANTP, 2015. Partes I, II e III. 434 pág.

ANTP - Associação Nacional de Transportes Públicos. Sistema de Informações da Mobilidade Urbana da Associação Nacional de Transportes Público -Simob/ANTP: Nova metodologia adotada para o Simob/ANTP. SÃO PAULO: ANTP, maio de 2018a.

ANTP - Associação Nacional de Transportes Públicos. Sistema de Informações da Mobilidade Urbana da Associação Nacional de Transportes Público - Simob/ANTP: Relatório geral 2016. SÃO PAULO: ANTP, maio de 2018b.

ANTP - Associação Nacional de Transportes Públicos. Disponível em: <http://www.antp.org.br/simulador-de-impactos-ambientais/finalidade-e-metodologia.html>>. Acesso em: setembro de 2018.

BOARETO, R. A política de mobilidade urbana e a construção de cidades sustentáveis. CAMPOS, V. B. G. Uma visão da mobilidade sustentável. Revista dos Transportes Públicos. v.2, p. 99-106, 2006.

BONFIM, F. C. R. Governança ambiental e unidades de conservação do meio ambiente: uma abordagem institucionalista. Dissertação (Mestrado em Economia de Empresas) - FGV - Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, 2007.

BRASIL. CONAMA. Resolução CONAMA nº 03/90, de 28 de junho de 1990. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 22 ago. 1990. Seção 1, p. 15937-15939. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=100>>. Acesso em: 5 de setembro de 2018.

CARVALHO, C. H. R. Emissões relativas de poluentes do transporte motorizado de passageiros nos grandes centros urbanos brasileiros. Texto para Discussão. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, Brasília, 2011a, 39 p.

CARVALHO, C. H. R. Emissões relativas de poluentes do transporte urbano. Boletim regional, urbano e ambiental. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, Brasília p. 123–139, 2011b.

CARVALHO, C. H. R. Mobilidade Urbana Sustentável: conceitos, tendências e reflexões. Texto para Discussão. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), 2016.

CAVALCANTI C. Concepções da economia ecológica: suas relações com a economia dominante e a economia ambiental. Estudos avançados, v.24, n.68, p.56-67. 2010.

CECHIN, Andrei D. Georgescu-Roegen e o desenvolvimento sustentável: diálogo ou anátema? Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Ciência Ambiental da Universidade de São Paulo, 2008.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Qualidade do ar no Estado de São Paulo 2013. São Paulo, 2014. (Série Relatórios). Disponível em: <<http://cetesb.sp.gov.br/ar/publicacoes-relatorios/>>. Acesso em: setembro de 2018

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Emissões veiculares no estado de São Paulo 2016. São Paulo, 2017a. (Série Relatórios). Disponível em: <<http://cetesb.sp.gov.br/veicular/relatorios-e-publicacoes/>>. Acesso em: 5 de setembro de 2018.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Qualidade do ar no Estado de São Paulo 2016. São Paulo, 2017b. (Série Relatórios). Disponível em: <<http://cetesb.sp.gov.br/ar/publicacoes-relatorios/>>. Acesso em: 6 de junho de 2018.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Qualidade do ar no Estado de São Paulo 2017. São Paulo, 2018. (Série Relatórios). Disponível em: <<http://cetesb.sp.gov.br/ar/publicacoes-relatorios/>>. Acesso em: 10 de agosto de 2018.

COASE, R. H. The nature of the firm. *Economica*, London: [s.n.], v. 4, n. 16, p. 386-405, Nov. 1937.

FARIA, L. M. Metabolismo Social em uma indústria de laticínios na zona rural de Visconde de Mauá (RJ). Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental) – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

FRAGA, J. S.; OLIVEIRA, R. R. Social Metabolism, Cultural Landscape, and Social Invisibility in the Forests of Rio de Janeiro. In: Massimo Canevacci. (Org.). *Polyphonic Anthropology - Theoretical and Empirical Cross-cultural fieldwork*. 1ed. Rijeka, Croatia: Intech, 2012, v., p. 139-156

GOMIDE, A. A. Mobilidade urbana, iniquidade e políticas sociais. IPEA, *Políticas Sociais: acompanhamento e análise*, n.12, p.242-250. Fev.2006.

HERSCOVICI, A. História, entropia e não linearidade: algumas aplicações possíveis na Ciência Econômica. *Revista de Economia Política*, São Paulo, v. 25, n. 3, p. 277-294, 2005.

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Programa de controle da poluição do ar por veículos automotores – Proconve/Promot. 3. ed. Brasília: Ibama, 2011. 584 p. (Coleção Meio Ambiente. Série Diretrizes – Gestão Ambiental, n.º 3).

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate Change 2014 Synthesis Report*. 2014. Disponível em: https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf. Acesso em 03 de agosto de 2019.

IPCC - Intergovernmental Panel On Climate Change – Organization. Site oficial. Disponível em <http://www.ipcc.ch/organization/organization.shtml>. Acesso em 03 de agosto de 2019.

IRP –International ResourcePanel. Disponível em: <<http://www.resourcepanel.org/the-panel/marina-fischer-kowalski>>. Acesso em: 23 de agosto de 2018.

LERNER, J. Avaliação comparativa das modalidades de Transporte Público Urbano. NTU, Curitiba, 2009.

LOË, R. C. et al. From government to governance: a state-of-the-art review of environmental governance. Guelph: Rob de Loë Consulting Services, 2009 (Final Report).

LUSTOSA, M. C. J. et al. *Urban Mobility and Social Metabolism Brazil's Urban Fleet Analysis*. 2018.

MARTINEZ-ALIER, J. “*Economía y Ecología: Cuestiones Fundamentales*”. *Pensamiento Iberoamericano*, 12, pp. 41-60, 1987.

MARTINEZ-ALIER, J. Economia Ecológica. *International Encyclopedia of the Social and Behavioral Sciences*. 2015. Disponível em: <http://ecoeco1.hospedagemdesites.ws/ecoconovo/wp-content/uploads/2018/09/alier_economia_ecologica.pdf>. Acesso em: 01 de agosto de 2018.

MCID - Ministério das Cidades. Política Nacional de Mobilidade Urbana do Ministério das Cidades. Cartilha. Brasília, 2013. Disponível em: <<http://www.portalfederativo.gov.br/noticias/destaques/municipios-devem-implantar-planos-locais-de-mobilidade-urbana/CartilhaLei12587site.pdf>>. Acesso em: 01 de agosto de 2019.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/estr.cfm>>. Acesso em: 25 de setembro de 2018

MMA - Ministério do Meio Ambiente. 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários: Relatório Final. Brasília-DF, 2011. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/163/_publicacao/163_publicacao27072011055200.pdf>. Acesso em: 10 de setembro de 2018.

MOURA, A. M. M. Governança Ambiental no Brasil: Instituições, atores e políticas públicas. Brasília: Ipea, 2016.

NOBRE, P. F. da S. Uma abordagem institucionalista da regulação federal brasileira em vigilância sanitária. 2011. ix, 105 f. Tese (Saúde Pública) - Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Rio de Janeiro, 2011.

NORTH, Douglass. 1993. Instituciones, Cambio Institucional y desempeño Económico. México, Fondo de Cultura Económica, 1993, tradução de *Institutions, Institutional Change and Economic Behavior*.

OLIVEIRA, R. R.; FRAGA, J. S. .História Ambiental e Transformação da Paisagem: metabolismo social de três sistemas produtivos históricos do Estado do Rio de Janeiro. In: Eunice Sueli Nodari; João Klug. (Org.). História Ambiental e Migrações. 1ed.São Leopoldo, RS: Oikos, 2012, v. 1, p. 77-102.

OLIVEIRA, R. R.; FRAGA, J. S. . Metabolismo Social de uma Floresta e de uma cidade: paisagem, carvoeiros e invisibilidade social no Rio de Janeiro dos séculos XIX e XX. GeoPuc, Rio de Janeiro , v. 7, p. 177, 2012.

OLIVEIRA, R. R.; FRAGA, J. S. Integrando processos sociais e ecológicos: o metabolismo social de três sistemas produtivos históricos do Estado do Rio de Janeiro. Anais do XXVI Simpósio Nacional de História – ANPUH. São Paulo, julho 2011.

OSTROM, E. (2005). Doing institutional analysis: digging deeper than markets and hierarchies. Handbook of New Institutional Economics, ed. Claude Ménard and Mary M. Shirley, 819–848. Dordrecht, The Netherlands: Springer.

PEREIRA JÚNIOR, J. S. Legislação brasileira sobre poluição do ar. Biblioteca Digital da Câmara dos Deputados. Consultoria Legislativa. Centro de Documentação e Informação. Brasília: 2007, jun, p. 1-12.

PONDÉ, J. L. Instituições e mudança institucional: um abordagem schumpeteriana. Economia, Brasília (DF), v. 6, n. 1, p. 119-160, 2005.

PORTO, M. F.; MARTINEZ-ALIER, J. Ecologia política, economia ecológica e saúde coletiva: interfaces para a sustentabilidade do desenvolvimento e para a promoção da saúde. Cad. Saude Publica, 23(Supl. 4). 2008.

PORTO, M. F.; MILANEZ, B. Eixos de desenvolvimento econômico e geração de conflitos socioambientais no Brasil: desafios para a sustentabilidade e a justiça ambiental. Ciênc. saúde coletiva [online]. 2009, vol.14, n.6, pp.1983-1994. ISSN 1413-8123. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1413-81232009000600006>>. Acesso em: 29 de agosto de 2018.

SANTOS, I. A. Economia ecológica e políticas públicas: um olhar sobre o cerrado Brasileiro. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Economia, 2018.

SEEG - Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa. EMISSÕES DOS SETORES DE ENERGIA, PROCESSOS INDUSTRIAIS E USO DE PRODUTOS. PERÍODO 1970 - 2015. 2017.

SOARES, L. et al. Mitigação da emissão de gases efeito estufa pelo uso de etanol da cana de açúcar produzido no Brasil. Circular Técnica, n. 27. Embrapa, 2009.

TOLEDO, V. M. e MOLINA, M. G. El metabolismo social: las relaciones entre La sociedad y La naturaleza. Curso XII Lectura 1. Metabolismo Social (apostila de curso), 2007.

TOLEDO, V. El metabolismo social: una nueva teoria socioecológica. Relaciones, Zamora, v. 34, n.136, set./nov. 2013.

TOLEDO, V. e MOLINA, M. The Social Metabolism, A Socio-Ecological Theory of Historical Change. Suíça: Springer International Publishing, 2014.

WILLIAMSON, O. E.. Comparative economic organization: the analysis of discrete structural alternatives. Administrative Science Quarterly, 36(2), 269-296. 1991.