



UFRJ

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE ECONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM POLÍTICAS
PÚBLICAS, ESTRATÉGIAS E DESENVOLVIMENTO**

GABRIEL PABST

**ANÁLISE ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE ÔNIBUS
SUSTENTÁVEIS NO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO**

Rio de Janeiro
2020

GABRIEL PABST

**ANÁLISE ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE ÔNIBUS
SUSTENTÁVEIS NO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Políticas Públicas, Estratégias e Desenvolvimento do Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, na linha de pesquisa de Estratégias e Desenvolvimento Sustentável, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Políticas Públicas, Estratégias e Desenvolvimento.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Frickmann Young
Coorientador: Prof. Dr. Carlos Augusto Arentz Pereira

FICHA CATALOGRÁFICA

P113 Pabst, Gabriel.
Análise econômica da implantação de ônibus sustentáveis no município do Rio de Janeiro / Gabriel Pabst. – 2020.
193 f.; 31 cm.

Orientador: Carlos Eduardo Frickmann Young.

Coorientador: Carlos Augusto Arentz Pereira.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Economia, Programa de Pós-Graduação em Políticas Públicas, Estratégias e Desenvolvimento, 2020.

Bibliografia: f. 154 – 168.

1. Políticas públicas – Rio de Janeiro (RJ). 2. Transporte sustentável. 3. Bioeconomia. 4. Valoração ambiental. I. Young, Carlos Eduardo Frickmann, orient. II. Pereira, Carlos Augusto Arentz, coorient. III. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Instituto de Economia. IV. Título.

CDD 354.098153

ANÁLISE ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE ÔNIBUS SUSTENTÁVEIS NO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Políticas Públicas, Estratégias e Desenvolvimento do Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, na linha de pesquisa de Estratégias e Desenvolvimento Sustentável, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Políticas Públicas, Estratégias e Desenvolvimento.

Aprovada em 30 de julho por:

Dr. Carlos Eduardo Frickmann Young (Orientador)

Dr. Carlos Augusto Arentz Pereira (Coorientador)

Dr. Emilio Lèbre La Rovere (Membro Externo Titular)

Dr. José Vitor Bomtempo Martins (Membro Interno Titular)

DEDICATÓRIA

Às minhas tias Sandra e Marcia,
que tornam o impossível
uma questão de perspectiva.

AGRADECIMENTOS

Às minhas tias, que me acompanham desde a infância com um olhar generoso e atento. Serei sempre grato por seus conselhos, que por vezes ponho em prática.

À minhas amigas, confidentes e terapeutas Tania, Fabricia, Bianca, Luiza , Ana, Mariana e Rebecca, que sempre me incentivaram a ir além do óbvio, ocasionalmente compreendem minhas ausências e me lembram de viver a vida de tempos em tempos.

À Secretaria Municipal de Transportes do Rio de Janeiro, onde desempenho minhas funções e espero contribuir constantemente para o bem estar da cidade. Agradeço a confiança de seus servidores Maicon, Alexandre, Andrea e Luis ao me permitir atuar nas pautas relativas ao transporte sustentável desta cidade, que é sem dúvida maravilhosa.

À Secretaria Municipal de Meio Ambiente do Rio de Janeiro, na qual também tenho o privilégio de atuar como Conselheiro e que me lembra diariamente que o Meio Ambiente é tudo, inclusive o transporte.

Ao meu Orientador e Coorientador Carlos Eduardo Young e Carlos Arentz, que generosamente acreditaram em mim a todo instante e que fazem da economia e da engenharia ciências amistosas – um feito por si só.

Ao Grupo C40 de cidades comprometidas com a implementação de modelos sustentáveis em seus territórios, que além da louvável iniciativa me convidou para um congresso internacional sobre o tema e me permitiu ser o ponto focal de seus estudos na cidade do Rio de Janeiro.

Aos entrevistados, pela confiança e disponibilidade em participar desta pesquisa, que adquiriu vida ao incorporar suas perspectivas.

Ao Instituto de Economia e a Universidade Federal do Rio de Janeiro, sempre dispostos a me auxiliar em quaisquer questões por meio do seu corpo técnico ou docente, representando para mim uma casa na qual minha criatividade e inquietação podem ser exercitadas e expandidas.

Ao povo brasileiro, cujo investimento contínuo em minha educação espero retribuir ao longo de toda minha trajetória acadêmica e profissional.

RESUMO

A presente pesquisa objetiva analisar a viabilidade econômica da implementação de ônibus sustentáveis no município do Rio de Janeiro. Ao adotar a perspectiva de que o poder público deve elaborar e implementar políticas públicas economicamente factíveis que promovam o bem-estar da população, a perspectiva teórico-metodológica deste estudo associa a poluição emitida pelo setor aos seus custos em saúde pública, contrapondo-os aos custos inerentes a uma transição para um sistema de ônibus urbanos sustentáveis. Este processo é marcado pelas particularidades da cidade do Rio de Janeiro, cujo modelo de desenvolvimento urbano a partir da década de 60 ensejou a adoção de um sistema de transporte coletivo que aprofundou sua fragmentação socioespacial, além de se caracterizar pelo consumo do diesel, destacado pelo seu elevado potencial poluidor e sensibilidade às flutuações internacionais dos preços do barril de petróleo. Por esta razão, a análise compreende uma identificação da evolução do uso do diesel fóssil e seus substitutos nas políticas de transportes por meio de um resgate histórico, bem como de suas flutuações de preços e das políticas incidentes sobre o setor. Ao definir o município do Rio de Janeiro como recorte geográfico, caracterizam-se suas vulnerabilidades ambientais identificando como a manutenção do atual modelo poluidor tende a aprofundar a heterogeneidade espacial dos impactos ambientais incidentes sobre a cidade. Partindo-se da premissa de que cabe ao setor público desestimular a produção de externalidades negativas incidentes sobre o setor, passa-se à valoração destas (em termos de custos evitáveis sobre a saúde pública e perda de produtividade) para em seguida contrapô-las aos custos da implementação de cada solução tecnológica ambientalmente sustentável (biocombustíveis, gás natural e eletricidade), chegando-se à conclusão de que os custos associados ao tratamento das externalidades negativas geradas pelo setor supera em muito o custo necessário para a adoção de soluções que mitiguem estes problemas em sua fonte. Como abordagem para a compreensão de como este cenário se construiu e se mantém na atualidade, empreendeu-se uma análise qualitativa composta por entrevistas semiestruturadas com sete atores-chave no setor de transporte sustentável municipal a fim de identificar suas perspectivas e previsões acerca do comportamento do processo de transição para um modelo de transportes ambientalmente responsável. A análise integrada das etapas tornou possível identificar que a origem e permanência da deseconomia atuante no setor se deve a problemas como a ausência de políticas públicas programáticas e o não alinhamento dos responsáveis pela sua gestão em torno da construção de uma agenda pública, processo este em parte explicado pela assimetria de informações em posse de cada *stakeholder* e ausência de análises qualificadas a respeito de como a questão se comporta no cenário municipal.

Palavras-chave: Políticas Públicas; Transporte Sustentável; Bioeconomia; Valoração Ambiental

ABSTRACT

This research aims to analyze the economic feasibility of implementing sustainable buses in the city of Rio de Janeiro. By adopting the understanding that the state must design and implement economically feasible public policies that promote the well-being of the population, the theoretical-methodological perspective of this study associates the pollution emitted by the sector with public health costs it generates in order to compare it with the costs of transition into a sustainable urban bus system. This process is marked by the particularities of the city of Rio de Janeiro, whose urban development model from the 1960s onwards led to the adoption of a public transport system that deepened its socio-spatial fragmentation, in addition to being characterized by diesel consumption, which is highlighted by its high polluting potential and association to international fluctuations in oil prices. For this reason, this analysis includes an identification of the evolution of the use of fossil diesel and its substitutes in transport policies through a historical point of view, as well as its price fluctuations and sector's policies. By defining the municipality of Rio de Janeiro as a geographic research object, its environmental vulnerabilities are characterized, identifying how the maintenance of the current polluting model tends to deepen the spatial heterogeneity of the environmental impacts on the city itself. Upholding the premise that it is state's duty to discourage the production of negative externalities on the sector, these externalities are valued (in terms of avoidable costs on public health and loss of economic productivity) and then compared to the costs of implementing each environmentally sustainable technological solution (biofuels, natural gas and electricity), reaching the conclusion that the costs associated with the treatment of negative externalities generated by the transport sector far outweigh the cost necessary to adopt solutions that mitigate these problems at its beginnings. As an approach to understand how this scenario was constructed and maintained until nowadays, a qualitative analysis was taken, consisting of semi-structured interviews with seven key players in the municipal sustainable transport sector in order to identify their perspectives and predictions about the transition process toward an environmentally responsible transport model. The integrated analysis of the two research steps made it possible to identify that the origin and permanence of the unlogical economy model operating in the sector come up in problems such as the absence of programmatic public policies and the non-alignment of those responsible for their management around the construction of a public agenda, a process partly explained by the asymmetry of information held by each stakeholder individually and the absence of qualified analyzes about how these issues take place in the municipal scenario.

Keywords: Public policies; Sustainable transport; Bioeconomy, Environmental valuation

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Linha do tempo das políticas de eletrificação veicular	59
Figura 2- Mapa da Região Metropolitana do Rio de Janeiro segundo seus bairros	60
Figura 3- Mapa da Rede de Transportes da cidade do Rio de Janeiro.....	61
Figura 4- Mapa de suscetibilidade a escorregamentos de massa na cidade do Rio de Janeiro	69
Figura 5- Mapa de registros da cidade do Rio de Janeiro em função de sua rede de transportes	70
Figura 6- Mapa da produção, atração e linhas de desejo das viagens municipais na cidade do Rio de Janeiro	75
Figura 7- Mapa das Áreas de Planejamento da Cidade do Rio de Janeiro	76
Figura 8- Mapa do macrozoneamento da Cidade do Rio de Janeiro segundo seus eixos de expansão urbana e sistema de transportes	80
Figura 9- Mapa das Áreas de proteção ambiental em virtude dos eixos de expansão do sistema de transportes no município do Rio de Janeiro	81
Figura 10- Áreas de relevante interesse paisagístico e ambiental.....	81
Figura 11- Total de área licenciada por uso no período 2009-2013	83
Figura 12- Área total licenciada nas faixas de influência das estações dos BRTs e Linha 4 do metrô no período 2009-2013	84
Figura 13- Mapa das emissões no Rio de Janeiro por Região Administrativa	86
Figura 14- Emissões totais de material particulado por combustão segundo tipo de combustível	95
Figura 15- Simulação financeira do ônibus elétrico em função da menor tarifa de energia disponível	132
Figura 16- Simulação financeira do ônibus elétrico em função da redução do custo de energia e mantido o custo de transmissão.....	133
Figura 17- Simulação financeira do ônibus elétrico em função da redução o custo de energia e mantido o custo de transmissão.....	134
Figura 18- Simulação financeira do ônibus elétrico em função da taxa de transissão de energia intermediária	134
Figura 19- Simulação financeira do ônibus elétrico em função do limite da taxa de retorno interno.....	135
Figura 20- Simulação financeira do ônibus elétrico em função da taxa de retorno interno desfavorável.....	136
Figura 21- Simulação financeira do ônibus elétrico em função do custo de energia local e taxa de financiamento em 10%	137
Figura 22 - Simulação financeira do ônibus elétrico padron em função do custo reduzido de energia elétrica	138
Figura 23- Simulação financeira para o ônibus elétrico padron em função do custo de energia local e taxa de financiamento em 9%.....	139

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Evolução da Produção de Etanol no Brasil no período 1975 – 1980	49
Tabela 2- Conversão de Veículos para GNV no Período 1996 - 2004.....	55
Tabela 3- Políticas Públicas Nacionais de Eletrificação Veicular	59
Tabela 4- Taxas de Viagens das cidades brasileiras	62
Tabela 5- Taxa de viagens no Rio de Janeiro segundo modal e faixa de renda	62
Tabela 6- Viagens realizadas no Rio de Janeiro segundo tipo de modal.....	64
Tabela 7- Motivo das viagens realizadas no Rio de Janeiro.....	65
Tabela 8- Variação das temperaturas médias anuais na região mais fria e mais quente do Rio de Janeiro	66
Tabela 9- Posse de veículos automotores por área de planejamento da cidade do Rio de Janeiro	85
Tabela 10- Previsão orçamentária das rubricas referentes ao financiamento do Fundo Municipal de Mobilidade Urbana Sustentável do município do Rio de Janeiro referente ao exercício do ano de 2020	89
Tabela 12- Evolução da concentração de Material Particulado na Cidade do Rio de Janeiro	92
Tabela 13- Evolução da concentração de Monóxido de Carbono na Cidade do Rio de Janeiro	92
Tabela 11- Evolução da frota pertencente ao SPPO no Rio de Janeiro.....	92
Tabela 14- Estimativa de emissão das fontes de poluição do ar.....	93
Tabela 15- Diferença de poluentes emitidos para os combustíveis do Ciclo Otto por Macrozona para os cenários com e sem transporte por aplicativo (por toneladas, ano base 2018).....	94
Tabela 16- Categorias de modais pertencentes ao SPPO segundo com seu consumo de combustível (Em litros por quilômetro percorrido).....	106
Tabela 17- Quantitativo de modais segundo seu consumo de diesel total (Consórcio Santa Cruz).....	106
Tabela 18- Quantitativo de modais segundo seu consumo de diesel total (Consórcio Internorte)	107
Tabela 19- Quantitativo de modais segundo seu consumo de diesel total (Consórcio Intersul).....	107
Tabela 20- Quantitativo de modais segundo seu consumo de diesel total (Consórcio Transcarioca).....	107
Tabela 21- Quantitativo de modais segundo seu consumo de diesel total (BRT)	107
Tabela 22- Total de diesel B10 consumido no município do Rio de Janeiro por mês	108
Tabela 23- Coeficientes de regressão adotados para o cálculo de risco de morbidade para exposição a material particulado inalável fino, MP _{2.5} , a partir dos estudos selecionados e considerando a relação entre MP ^{2.5} e MP ₁₀ de 60%	113
Tabela 24- Produção sacrificada resultante de todas as fontes de poluição na cidade do Rio de Janeiro	116
Tabela 25- Morbidade resultante de todas as fontes de poluição na cidade do Rio de Janeiro	117
Tabela 26- Produção sacrificada resultante das emissões do SPPO na cidade do Rio de Janeiro	119
Tabela 27- Morbidade resultante das emissões do SPPO na cidade do Rio de Janeiro	120

Tabela 28- Mortalidade resultante das emissões do SPPO na cidade do Rio de Janeiro	121
Tabela 29- Fatores de emissão para motorizações Diesel Euro V e GNV Euro VI ..	123
Tabela 30- Produção sacrificada resultante das emissões do SPPO na cidade do Rio de Janeiro no caso da adoção do gás natural	124
Tabela 31- Morbidade evitada resultante das emissões do SPPO na cidade do Rio de Janeiro no caso da adoção do gás natural	125
Tabela 32- Custo de eletricidade segundo distribuidor de energia	131
Tabela 33- Viabilidade do projeto de eletrificação da frota mantidos os custos de energia à uma taxa de financiamento total do projeto de 9%	133
Tabela 34- Viabilidade das tecnologias para a implantação de ônibus sustentáveis no município do Rio de Janeiro	150
Tabela 35- Prazo para a implementação das tecnologias sustentáveis (anos)	151
Tabela 36- Grau de importância dos aspectos da política (0 a 10)	152

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Estágios de desenvolvimento e consumo de energia.....	19
Gráfico 2- Evolução das fontes de energia	21
Gráfico 3- Evolução das fontes fósseis e não fósseis de energia.....	21
Gráfico 4- Emissão de poluentes segundo sua fonte	22
Gráfico 5- Evolução da emissão de CO ₂	22
Gráfico 6 - Correlação entre a primeira crise do petróleo e a inflação brasileira	43
Gráfico 7 - Correlação entre a primeira crise do petróleo e a inflação brasileira	44
Gráfico 8- Evolução e Projeção da Produção e Exportação Álcool Etílico no período 1975- 2016	47
Gráfico 9- Venda de carros a álcool e flex fuel no Brasil no período 1979 – 2008	47
Gráfico 10- Evolução da Frota de Veículos Movidos a GNV	56
Gráfico 11- Taxa de viagens no Rio de Janeiro segundo modal.....	63
Gráfico 12- Padrão municipal de demanda por tipo de modal	63
Gráfico 13- Padrão municipal de demanda por tipo de modal motorizado	64
Gráfico 14- Participação das viagens realizadas no Rio de Janeiro segundo seu motivo	65
Gráfico 15- Quantidade anual de ressacas na Cidade do Rio de Janeiro.....	67
Gráfico 16- Quantidade de Anomalias Positivas de Temperatura Máxima na Cidade do Rio de Janeiro	71
Gráfico 17- Duração média de Anomalias Positivas de Temperatura Máxima na Cidade do Rio de Janeiro	71
Gráfico 18- Mapa do Suscetibilidade do Meio Físico a Inundações na cidade do Rio de Janeiro	72
Gráfico 19- Área total licenciada na cidade do Rio de Janeiro.....	82
Gráfico 20- Evolução total da área licenciada por Área de Planejamento no período 1994-2013	83
Gráfico 21- Posse de veículos automotores por área de planejamento da cidade do Rio de Janeiro	85
Gráfico 22- Preços comparados Biodiesel (B100) adquirido nos Leilões ANP X Diesel Mineral (R\$/L).....	101
Gráfico 23- Custos comparados de Produção do Biodiesel B10 e B20 (R\$/L).....	102

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Classificação das fontes de energia	20
Quadro 2- Entrevistados selecionados para a análise qualitativa	33
Quadro 3- Dimensões da mobilidade sustentável.....	39
Quadro 4- Dimensões nacionais da mobilidade sustentável.....	39
Quadro 5- Distribuição federativa de competências no setor de transportes.....	41
Quadro 6- Fontes de financiamento do Fundo Municipal de Mobilidade Urbana Sustentável do município do Rio de Janeiro.....	88
Quadro 7- Desfechos mórbidos a serem considerados na avaliação do impacto da poluição atmosférica na saúde, por faixas etárias de interesse	112

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

ABEGÁS	Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Gás Canalizado
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
ANTP	Associação Nacional de Transportes Públicos
AP	Área de Planejamento
APTM	Anomalias Positivas de Temperatura Máxima
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
BRT	<i>Bus Rapid Transit</i>
C40	Grupo C40 de Grandes Cidades para a Liderança Climática
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CAPEX	<i>Capital Expenditure</i>
CBIO	Crédito de Descarbonização
CEA	Companhia de Eletricidade do Amapá
CELPA	Equatorial Energia Pará
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética
COFINS	Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FMUS	Fundo Municipal de Transportes Sustentáveis
GEIPOT	Grupo Executivo de Integração da Política de Transportes
GHG	<i>Greenhouse Gas</i>
GNV	Gás natural veicular
GT ZEBRA	Grupo de Trabalho <i>Zero Emission Bus Rapid-deployment Accelerator</i>
IAA	Instituto do Açúcar e do Alcool
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
IPVA	Imposto sobre a propriedade de veículos automotores
ISS	Imposto sobre Serviços de Qualquer Natureza
ITDP	Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento
MME	Ministério de Minas e Energia
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
OMS	Organização Mundial da Saúde
OPAS	Organização Pan-Americana da Saúde
OPEX	<i>Operational Expenditure</i>
PASEP	Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público
PDDU	Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano
PDTU	Plano diretor de transporte urbano
PIS	Programa de Integração Social
PLANGÁS	Plano de Antecipação da Produção de Gás
PMUS	Plano de Mobilidade Urbana Sustentável
PNPB	Programa Nacional de Produção e uso do Biodiesel
PODD	Pesquisa de Origem e Destino Domiciliar
PROÁLCOOL	Programa Nacional do Alcool

PROBIODIESEL	Programa de Desenvolvimento Tecnológico de Combustíveis Alternativos
PRONAF	Programa de Fortalecimento da Agricultura Familiar
PROÓLEO	Plano de Produção de Óleos Vegetais para Fins Energéticos
RMRJ	Região Metropolitana do Rio de Janeiro
SMTR	Secretaria Municipal de Transportes do Rio de Janeiro
SPPO	Sistema de Transporte Público por Ônibus
UBRABIO	União Brasileira do Biodiesel e Bioquerosene
VEV	Valor Estatístico da Vida
VLT	Veículo Leve sobre Trilhos

SUMÁRIO

1. Introdução	19
1.1 Problema de Pesquisa	23
1.2 Estrutura da Dissertação	24
2. Metodologia	25
2.1 Objetivo Geral.....	26
2.2 Objetivos Específicos.....	26
2.3 Pergunta de Pesquisa.....	26
2.4 Objeto.....	27
2.5 Hipótese	27
2.5.1 Hipótese subjacente	27
2.6 Seleção da Literatura.....	27
2.6.1 Seleção e Coleta dos dados referentes ao transporte público municipal	28
2.6.2 Seleção e Coleta dos entrevistados integrantes das políticas públicas de transporte público municipal.....	32
3. Mobilidade Sustentável enquanto Política Pública: Os antecedentes do caso brasileiro	36
3.1 Choques do Petróleo, flutuação dos preços internacionais e vulnerabilidade exógena	42
3.2 Flutuação do mercado de cana-de-açúcar enquanto fator endógeno	44
3.3 Políticas Públicas de estímulo ao Álcool.....	48
3.4 Políticas Públicas de estímulo ao Biodiesel.....	51
3.5 Políticas Públicas de estímulo ao Gás Natural.....	53
3.6 Políticas Públicas de estímulo aos Veículos Elétricos.....	57
4. Mobilidade Urbana e Meio Ambiente da Cidade do Rio de Janeiro	60
4.1 Mudanças Climáticas Projetadas	65
4.1.1 Vulnerabilidade Urbana	73
4.2 Planejamento Urbano e Transporte Público	79
4.3 Políticas Públicas como indutoras do Transporte Público Sustentável	86
5. Análise quantitativa das soluções sustentáveis para o transporte público municipal.....	91
5.1 Biodiesel	96
5.1.1 Contextualização.....	96
5.1.2 Custo de Produção	100
5.1.3 Custo Logístico	103
5.1.4 Custo de Depreciação	104
5.1.5 Cálculo da quantidade de biodiesel adicional.....	105

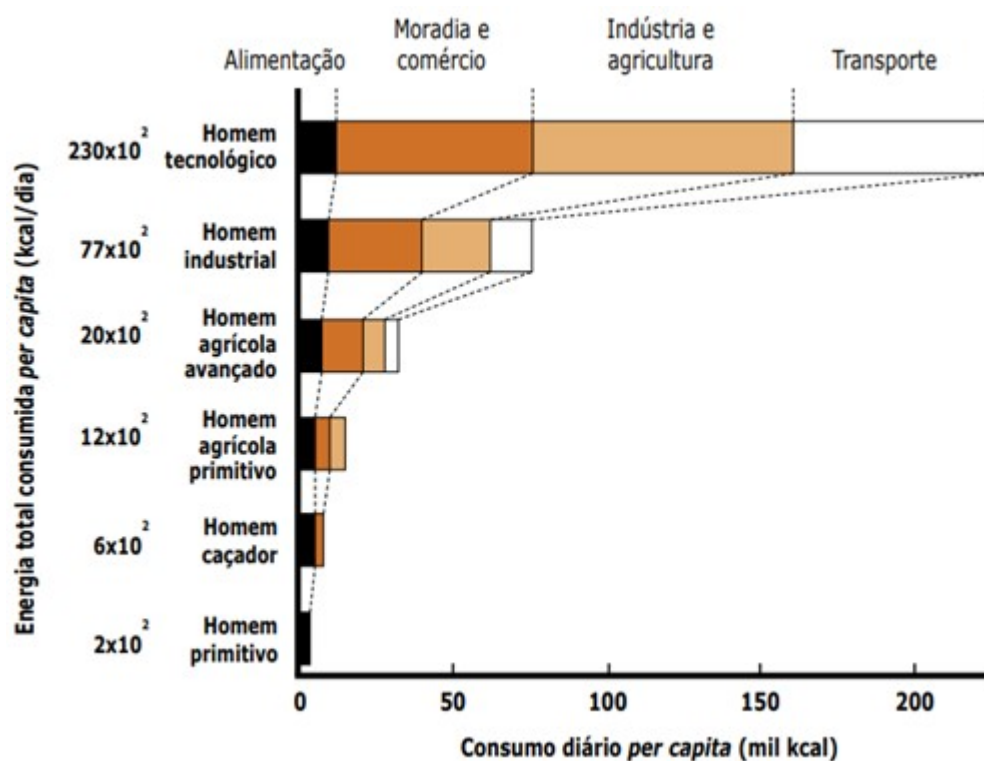
5.1.6	Custo da Neutralização de Carbono Associada ao B20.....	108
5.1.7	Correlação dos impactos tarifários ocasionados pela adoção do B20 e créditos de carbono	109
5.1.8	Valoração dos impactos na saúde associados à adoção do B20	110
5.1.9	Considerações	122
5.2	Gás Natural	123
5.2.1	Valoração dos impactos na saúde associados à adoção do gás natural.....	124
5.2.2	Custo da neutralização de carbono associada à adoção do gás natural.....	125
5.2.3	Considerações	126
5.3	Veículos Elétricos	127
5.3.1	Valoração das externalidades negativas.....	139
5.3.2	Externalidades da cadeia produtiva de veículos elétricos e custos evitáveis de sua adoção	140
6.	Análise Qualitativa: Entrevistas com integrantes de Políticas Públicas	143
6.1	Ônibus sustentáveis e a melhor alternativa.....	144
6.2	Custos e benefícios	145
6.3	Avaliação do cenário.....	149
6.4	Modelo de transição.....	150
6.5	Expectativas e previsões	153
7.	Conclusões	154
	REFERÊNCIAS.....	157
	Anexo A.....	172
	Apêndice A	190

1. Introdução

Atualmente observa-se um crescente movimento de expansão urbana e dos processos industriais que acompanham esta dinâmica, provocando reflexos tanto no cenário nacional quanto internacional. Uma das principais características deste movimento é a crescente busca por fontes energéticas capazes de operacionalizar as metas de industrialização e urbanização traçadas pelos Estados Nacionais em seus projetos de desenvolvimento.

Como consequência histórica deste modelo, observa-se um aumento expressivo do consumo de energia contraposto aos sucessivos estágios do desenvolvimento humano, ainda que a população mundial tenha crescido em escala geométrica ao longo de seus estágios, conforme GOLDEMBERG e LUCON (2017) demonstram por meio do gráfico 1:

Gráfico 1 – Estágios de desenvolvimento e consumo de energia



Fonte: GOLDEMBERG e LUCON (2017)

Segue-se, portanto, a este expressivo aumento proporcional da demanda de

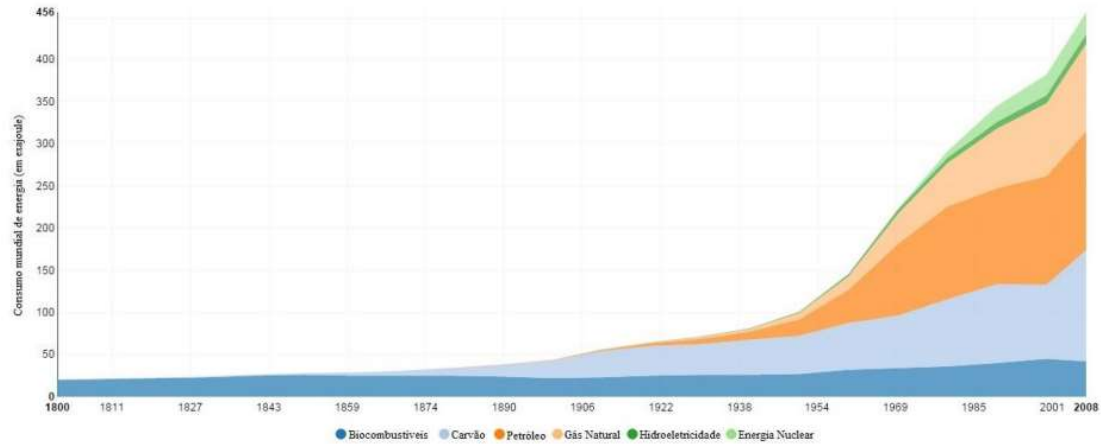
energia *per capita* a constante busca por soluções energéticas progressivamente eficientes e capazes de sustentar o atual modelo de desenvolvimento .

Quadro 1- Classificação das fontes de energia

Fontes		Energia primária	Energia secundária	
Não-renováveis	Fósseis	carvão mineral	termoeletricidade, calor, combustível para transporte	
		petróleo e derivados		
		gás natural		
	Nuclear	materiais físséis	termoeletricidade, calor	
Renováveis	"Tradicionais"	biomassa primitiva: lenha de desmatamento	calor	
	"Convencionais"	potenciais hidráulicos de médio e grande porte	hidreletricidade	
		potenciais hidráulicos de pequeno porte		
	"Novas"	biomassa "moderna": lenha replantada, culturas energéticas (cana-de-açúcar, óleos vegetais)	biocombustíveis (etanol, biodiesel), termoeletricidade, calor	
		outros	energia solar	calor, eletricidade fotovoltaica
			geotermal	calor e eletricidade
			eólica	eletricidade
maremotriz e das ondas				

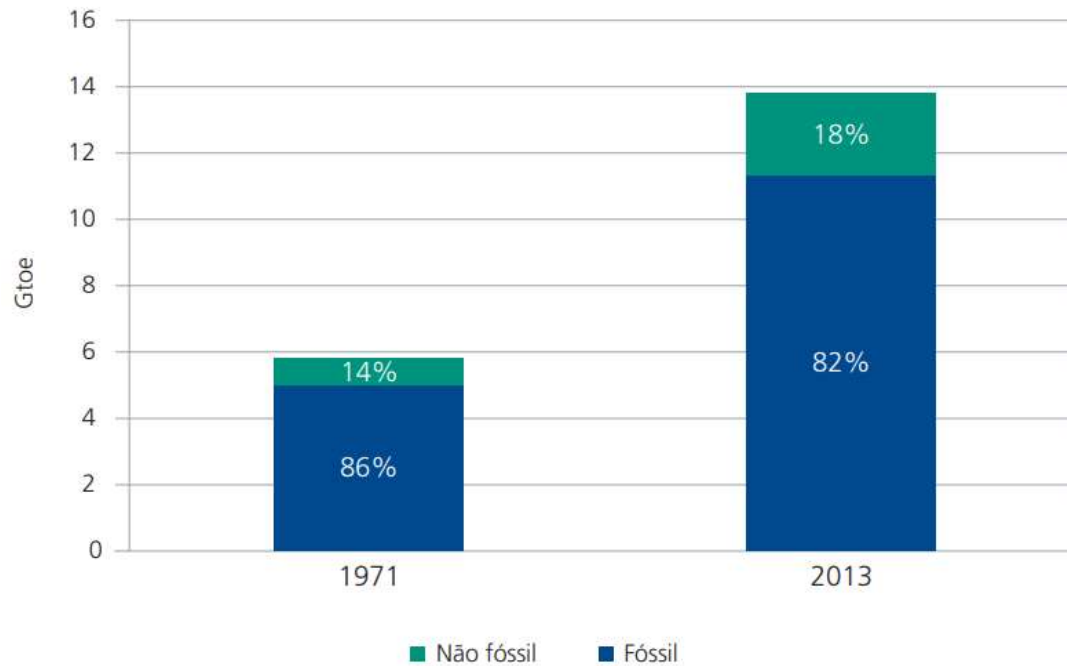
Fonte: GOLDEMBERG e LUCON (2017)

Gráfico 2- Evolução das fontes de energia



Fonte: ROSER (2015)

Gráfico 3- Evolução das fontes fósseis e não fósseis de energia



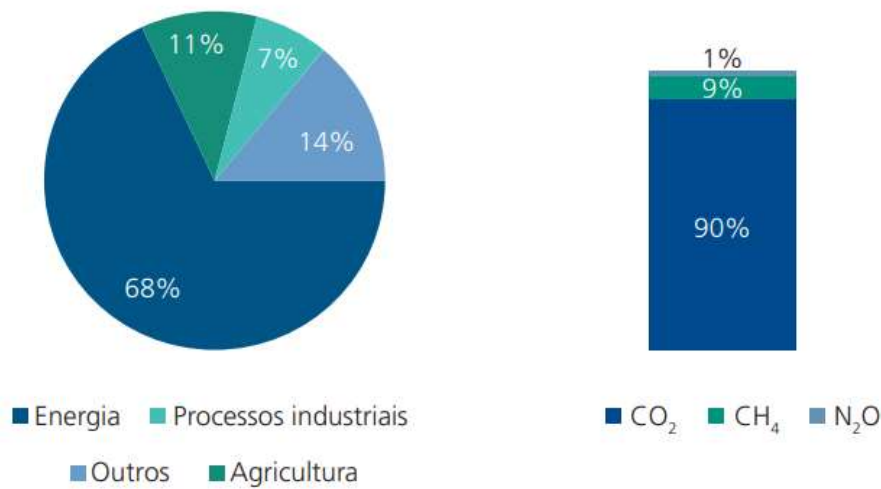
Fonte: IEA (2015)

Conforme se pode observar os recursos fósseis constituem as fontes de energia preferenciais atuantes no cenário internacional, tendo correspondido em 2001 a 80% do total de energia mundialmente consumida – segregados em 35% correspondentes ao petróleo, 23% ao carvão e 22% ao gás natural GOLDEMBERG e LUCON (2017).

O principal *spin-off* deste processo é a emissão de gases de efeito estufa sobre a

atmosfera, em especial o dióxido de carbono (CO₂), conforme dados também divulgados pela IEA referentes ao ano de 2010 relativos à ação antropogênica – atividades derivadas da ação humana – conforme se relaciona no gráficos 4:

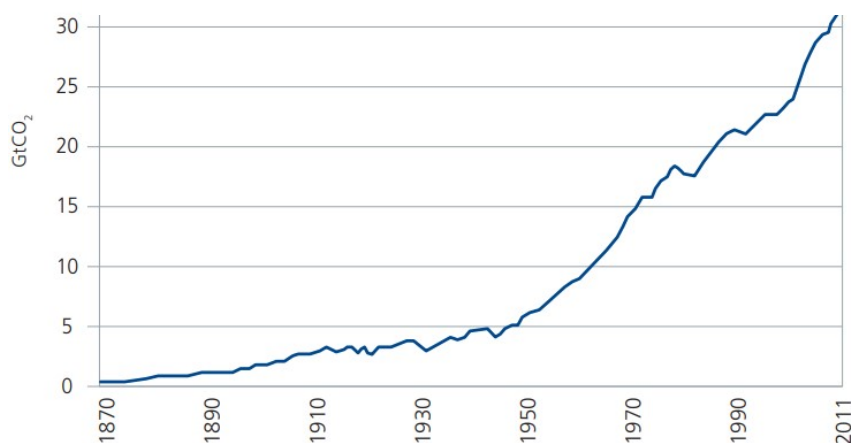
Gráfico 4- Emissão de poluentes segundo sua fonte



Fonte: IEA (2015)

O volume destas emissões e sua participação no crescente setor de energia provocam, por sua vez preocupação internacional, dada a progressão de seu volume ao longo da série histórica (gráfico 5).

Gráfico 5- Evolução da emissão de CO₂



Fonte: IEA (2015)

Deste modo, os Estados Nacionais têm buscado propor e efetivar medidas que

mitiguem e previnam os impactos potenciais das atuais projeções por meio de Políticas Públicas tanto no contexto interno de sua jurisdição quanto no cenário internacional, por meio de adesão a convenções e tratados.

Entre as principais soluções que se apresentam atualmente figuram o investimento sobre transportes públicos (como forma de evitar a utilização progressiva de veículos automotores particulares) e o investimento em energias sustentáveis a serem utilizadas sobre os modais de transporte público. Entre estas fontes de energia atualmente ocupam o debate a energia elétrica, o gás natural e os biocombustíveis.

1.1 Problema de Pesquisa

Ao constituir maioria expressiva do total de emissões poluentes lançadas na atmosfera na esfera municipal, o setor de transportes tem sido alvo de medidas do poder público desde 1989, quando foi promulgada a primeira lei referente a fiscalização de ônibus com fins de prevenção do lançamento de excesso de fumaça ao longo de sua operação.

No entanto, ainda se observam níveis de poluição atmosférica acima do desejável na cidade do Rio de Janeiro, fenômeno que fomenta diversas políticas públicas cujo principal objetivo é reduzir os focos de emissão destes gases. Dentre estas medidas figuram as leis e decretos que objetivam converter a atual frota de ônibus públicos municipais por veículos que utilizem fontes de energias sustentáveis em detrimento do diesel.

Atualmente se estudam três soluções para a obtenção do resultado acima descrito, sendo elas a substituição do atual motor de ônibus movido a diesel por fontes de energia como biocombustíveis; gás natural e energia elétrica. No entanto, a transição para estas soluções não constitui tarefa simples, uma vez que cada uma destas tecnologias apresenta modelos de implementação, prazos, estruturação, financiamentos e benefícios distintos.

Neste contexto, o presente estudo busca identificar as particularidades de cada uma destas soluções em uma escala local – a cidade do Rio de Janeiro – para em seguida calcular os custos econômicos e ambientais inerentes a adoção de cada uma, bem como seus potenciais benefícios. Espera-se, ao final do estudo, estabelecer uma

base comum na qual as três alternativas possam ser comparadas em um modelo de viabilidade econômica, produzindo resultados e reflexões que possam amparar e embasar o poder público quando da tomada de suas decisões, além de contribuir para a discussão acadêmica relativa à adoção de soluções sustentáveis aplicadas ao transporte intraurbano.

1.2 Estrutura da Dissertação

A presente dissertação é formada por cinco capítulos, além desta introdução. No capítulo 2 apresenta a metodologia adotada no o desenvolvimento do presente estudo, que se enquadra em um estudo de caso descritivo-exploratório baseado em métodos mistos. Para tanto, dividiu-se o capítulo em cinco seções, a saber: a) objetivo geral; b) objetivos específicos; c) pergunta de pesquisa; d) hipótese; e) delineamento da pesquisa, sendo esta última seção segregada em três subseções: a) seleção da literatura; b) seleção e coleta dos dados referentes ao transporte público municipal e c) seleção e coleta dos entrevistados integrantes das políticas públicas de transporte público municipal.

O capítulo 3 é discutida a literatura que fundamenta a atual discussão relativa aos transportes sustentáveis e como esta questão foi adaptada e desenvolvida em território nacional. Argumenta-se que dois fatores foram predominantes no comportamento do setor tal como ele se deu no caso brasileiro: os sucessivos choques internacionais do preço do petróleo (enquanto fator externo) e as flutuações do mercado da cana-de-açúcar (enquanto fator interno). Em seguida são analisadas as políticas públicas relativas ao desenvolvimento de transportes sustentáveis no território nacional, resgatando sua trajetória e analisando seus desdobramentos.

O capítulo 4 situa o setor dos transportes sustentáveis no território da Cidade do Rio de Janeiro, identificando a evolução desta pauta ao longo do desenvolvimento urbano do município e elencando as políticas públicas locais referentes ao objeto, cuja característica, por determinação constitucional de distribuição de competências no âmbito da federação, se concentra prioritariamente no desenvolvimento de ônibus urbanos não agressivos ao meio ambiente.

No capítulo 5 é realizada a análise custo-benefício de caráter quantitativo acerca das atuais políticas públicas à disposição do poder executivo municipal referentes ao setor de transporte público sustentável a serem implementadas na cidade do Rio de

Janeiro. Para tanto, são exploradas as especificidades tecnológicas e econômicas relativas à utilização do biodiesel, gás natural e eletricidade sobre o sistema de transporte público por ônibus no município ora estudado. Na medida em que a adoção de cada uma destas soluções implica em diferentes custos, prazos, fontes de financiamento, estruturas e resultados, o capítulo foi elaborado em quatro etapas, nas quais se analisam individualmente as soluções apresentadas.

O capítulo 6 apresenta os resultados de uma análise qualitativa realizada com os atores envolvidos na direção e execução das políticas e soluções tecnológicas acima estudadas. Com o objetivo de capturar e explicitar as perspectivas adotadas por cada grupo envolvido, buscou-se explorar os pontos de vista referentes a percepção de custos e benefícios, prazos, obstáculos, avaliações sobre as políticas vigentes e expectativas/ previsões sobre o desenvolvimento do setor. Após este capítulo as conclusões são apresentadas, encerrando a dissertação.

2. Metodologia

Ao empreender o estudo de um objeto cujas influências se exercem atualmente no âmbito do município do Rio de Janeiro, as principais justificativas para o empreendimento residem na relevância social dos resultados da análise pretendida. Tais resultados pretendem identificar a lógica e eficiência econômica do atual modelo de condução de políticas públicas relativas aos transportes sustentáveis aplicados aos ônibus cariocas. Acredita-se, portanto, que este estudo possa contribuir para a discussão relativa à gestão da qualidade do ar, saúde, mobilidade urbana e impactos ambientais gerados pelas mudanças climáticas intraurbanas, na medida em que possa contribuir para o aumento da eficiência de políticas públicas que incidam sobre estes setores.

Acredita-se que, ao identificar as nuances e os descompassos do atual cenário da gestão de transportes sustentáveis do município do Rio de Janeiro, o resultado da pesquisa possa contribuir para a diminuição da judicialização de eventos correlatos em outras cidades brasileiras.

Finalmente, destaca-se o potencial de contribuição do presente estudo para a literatura especializada. Ainda em fase de desenvolvimento, os estudos referentes a bioeconomia e transportes sustentáveis no cenário brasileiro tratam

preponderantemente do cenário nacional (COUTINHO; BOMTEMPO, 2011; PEREIRA; BOMTEMPO; ALVES, 2015). Deste modo, acredita-se que a metodologia utilizada possua não só um potencial de aplicação em outros municípios (com as adequações que se fizerem necessárias), bem como possa contribuir para o debate acadêmico a respeito da elaboração de métodos específicos para a análise de sua viabilidade em escala municipal.

2.1 Objetivo Geral

Identificar a viabilidade econômica da aplicação de políticas públicas de transportes sustentáveis na cidade do Rio de Janeiro, analisando para tanto os custos e benefícios da adoção de ônibus movidos a biodiesel (B20), gás natural e eletricidade.

2.2 Objetivos Específicos

1. Identificar na literatura a evolução da conceitualização de transportes sustentáveis e como este se estabeleceu no Brasil.
2. Identificar os riscos e vulnerabilidades apontados pela literatura especializada pelo aprofundamento dos efeitos das mudanças climáticas no município do Rio de Janeiro e como os transportes sustentáveis poderiam contribuir para mitigá-los.
3. Mapear as políticas públicas voltadas ao estímulo da produção e utilização de ônibus movidos por biodiesel (B20), gás natural e eletricidade.
4. Valorar o custo evitável em saúde pública ocasionados pela poluição atmosférica produzida pelos ônibus urbanos do município.
5. Valorar o custo evitável em perda da produtividade atribuíveis a óbitos precoces ocasionados pelos ônibus urbanos do município.
6. Identificar individualmente os investimentos necessários para adoção de cada alternativa tecnológica.
7. Identificar as perspectivas adotadas pelos atores envolvidos na construção de uma agenda de política pública relativa ao setor.

2.3 Pergunta de Pesquisa

Tendo em vista os objetivos gerais e específicos pretendidos, é possível formular a seguinte pergunta de pesquisa:

Partindo-se da premissa de que cabe ao poder público elaborar e implementar políticas públicas economicamente factíveis relativas a gestão meio ambiente, às mudanças climáticas, a mobilidade urbana e a saúde humana, é economicamente viável a adoção de ônibus sustentáveis no município do Rio de Janeiro?

2.4 Objeto

O presente estudo tem como objeto as medidas tomadas pelo poder público municipal em relação à implementação de fontes de energia sustentáveis em suas frotas de ônibus intraurbanos na cidade do Rio de Janeiro.

2.5 Hipótese

Tem-se como hipótese que o atual processo de transição dos ônibus urbanos do município do Rio de Janeiro para um paradigma sustentável não está ancorado somente em uma análise custo-benefício de enfoque financeiro e orçamentário, mas também em processos políticos e administrativos complexos que envolvem demandas de diferentes setores da sociedade que contribuem para o estabelecimento de uma hierarquia de prioridades entre as soluções atualmente disponíveis.

2.5.1 Hipótese subjacente

Acredita-se que a hierarquia de prioridades desenhada pelos atores sociais que compõem o quadro de *stakeholders* envolvidos no processo de transição tecnológica aqui estudado adota um sentido programático, no qual a adoção do gás natural enquanto combustível é descartada, ao passo que a utilização de concentrações progressivas de biocombustíveis se torna um degrau para a eletrificação completa da frota de ônibus urbanos municipais, entendida como o resultado final do processo.

2.6 Seleção da Literatura

A literatura selecionada para compor o presente estudo é composta por múltiplas abordagens de levantamento bibliográfico. Inicialmente consultou-se o material indicado pelas disciplinas oferecidas pelo curso de mestrado em Políticas Públicas, Estratégias e Desenvolvimento, no qual esta dissertação se origina. Entre este material, ocupou um papel predominante o relativo a linha “Sustentabilidade e Governança Ambiental”, a qual continha disciplinas fundamentais para o desenvolvimento da

presente pesquisa, como “Política e Economia Ambiental; Economia dos Biocombustíveis e Governança Ambiental e Descentralização”.

Em seguida consultou-se no banco de dados do programa o acervo de teses e dissertações relativos ao tema da sustentabilidade, valoração ambiental, gestão municipal, economia local e políticas de transportes – ainda neste campo, ocupou um papel importante o banco de dados das teses e dissertações defendidas nos programas de Engenharia de Transportes e Planejamento Energético do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE), também pertencem à Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Em seguida foram consultados materiais disponíveis em bases de dados dedicadas à difusão do conhecimento acadêmico, como o Portal Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), *Google Scholar*, *Web of Science*, entre outros. Para tanto, utilizaram-se preferencialmente estudos cuja delimitação geográfica possuísse um escopo local, aplicando-se as palavras-chave “valoração ambiental”; “bioeconomia”; “economia dos transportes”; “transportes sustentáveis”; “políticas de mobilidade urbana” e suas traduções em inglês. Sempre que possível selecionou-se entre os estudos aqueles que haviam sido avaliados por pares.

2.6.1 Seleção e Coleta dos dados referentes ao transporte público municipal

Em atendimento ao objetivo de analisar a transição dos ônibus urbanos do Rio de Janeiro sob a perspectiva da viabilidade econômica, foram utilizados tanto dados oficiais quanto estudos desenvolvidos por especialistas a respeito da questão tratada.

Inicialmente se identificou a competência jurídica da gestão municipal do setor de transportes, disciplinada pelo Art. 30º da Constituição Federal de 1998, segundo o qual compete aos municípios “(...) Organizar e prestar, diretamente ou sob regime de concessão ou permissão, os serviços públicos de interesse local, incluído o de transporte coletivo, que tem caráter essencial”.

Neste sentido o município do Rio de Janeiro optou pela concessão do serviço de transporte público local, formalizada pela Concorrência Pública nº CO 010/2010, presente no processo administrativo RIO nº 03/001.032/2010 e seus termos aditivos, os quais disciplinam a dinâmica da prestação do serviço no âmbito da cidade e que foram utilizados no presente estudo como fontes de informação referentes aos seus marcos jurídicos, bem como as quantidades e especificidades dos veículos determinados a

operar na esfera municipal.

Na medida em que a assinatura do contrato e início de seus efeitos já perduram há aproximadamente uma década, fatores supervenientes de caráter prático e jurídico passam a incidir progressivamente sobre seu exercício, como é o caso do desenvolvimento da pauta ambiental no contexto local. Este desenvolvimento pode ser delimitado especificamente no plano jurídico e administrativo pelos Decreto nº 46.078, que dispõe sobre a política municipal de desenvolvimento sustentável; Decreto nº 46.081, que declara a adesão da Cidade do Rio de Janeiro em promover ruas verdes e saudáveis, com prazos para redução de gases de efeito estufa em sua frota de transporte (produzindo o grupo de trabalho para eletrificação da frota municipal) e o Decreto nº 46.079, que institui o Programa Cidades Pelo Clima.

Neste sentido, tornou-se necessário reunir dados que permitissem a avaliação do atual impacto dos ônibus urbanos sobre a poluição atmosférica do município, posto que é o principal vetor de impacto ambiental do setor e reiteradamente tratado pela regulação que incide sobre a atividade. Para tanto se utilizaram os dados disponíveis no sistema MonitorAr Rio, que emite relatórios diários a respeito da quantidade de poluentes atmosféricos presentes na cidade, sendo estes poluentes regulados pela Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 03/1990 de 28 de junho de 1990.

Quanto aos limites máximos de poluição atmosféricas regulados pelo CONAMA cumpre esclarecer que atualmente existe uma tentativa de atualização destes índices pelo Poder Público, uma vez que hoje os limites estabelecidos são os mesmos concebidos há vinte e nove anos. Esta tentativa culminou na Resolução CONAMA nº 491/2018 de 19 de novembro de 2018, que além de tornar mais estritas as concentrações de alguns dos poluentes regulados, tornou obrigatório o acompanhamento e observância dos limites fixados para a emissão do Material Particulado Fino (MP_{2,5}).

No entanto, o debate permanece controverso, uma vez que a Procuradoria Geral da República ingressou em junho de 2019 com ação direta de inconstitucionalidade sobre a atualização da norma em questão, uma vez que considera que os padrões máximos de poluição fixados são insuficientes para garantir a manutenção da saúde da população, posto que ultrapassam os limites adotados internacionalmente. Adicionalmente, contribui para a fragilidade da aplicação da Resolução 491/18 a não apresentação pelo CONAMA no prazo de um ano das faixas de classificação dos

índices de concentração, que de acordo com a Resolução 03/90 variam entre boa, irregular, inadequada, má e péssima. Por estas razões o Município do Rio de Janeiro não adotou até o momento os padrões ou faixas recomendados pela resolução 491/18, continuando portanto a aplicar os limites elaborados há vinte e nove anos atrás estabelecidos pela Resolução 03/90.

Como os dados referentes à poluição do ar são fornecidos pelo município de acordo com a regulação então vigente, não existe atualmente uma série histórica agregada para todo o território da cidade do poluente $MP_{2,5}$ – considerado pela OMS como o mais danoso à saúde humana, conforme se verá no capítulo cinco. No entanto, a Secretaria Municipal de Meio Ambiente mantém um banco de dados contendo os registros das concentrações deste poluente desde 2012 no bairro de Irajá, o que levou a decisão de se adotar no estudo esta concentração como a média para todo o município por duas razões: em primeiro lugar os estudos desenvolvidos por CETESB (2016) demonstram que a participação de material particulado fino ($MP_{2,5}$) na concentração total de material particulado (MP_{10}) é de aproximadamente 60%, ao passo que o bairro de Irajá para o ano de 2018 apresentou uma correlação de 48%; Em segundo lugar, a média anual de material particulado total (MP_{10}) não apresentou variações relevantes no período observado, o que permite inferir que a extensão do dado oficial da unidade de Irajá como média anual para o município representa dado mais confiável do que a média aritmética de todas as unidades no período e sua desagregação em 60%.

Além da utilização de dados oficiais que tratam *strictu sensu* quantidade de poluição do ar no município, também se buscaram dados operacionais e produções acadêmicas que subsidiassem uma análise econômica dos impactos na qualidade do ar provocados pelas diferentes soluções possíveis para a transição sustentável dos ônibus cariocas, sendo elas a eletrificação da frota; a adoção de concentrações superiores de biocombustíveis e a utilização de gás natural nestes veículos.

Dado que a análise da viabilidade de implantação dos biocombustíveis constitui investigação a respeito dos efeitos causados pelo aumento da concentração já utilizada desta substância (de 10% para 20%), o modelo de análise utiliza dados referentes à transição específica destas concentrações. Para tanto, inicialmente foi realizada uma análise documental do Decreto Rio n 44.210 de 08 de janeiro de 2018, que instituiu a medida do aumento da concentração citada, bem como o Processo Administrativo Rio n° 03/000.084/2019, que trata dos trâmites práticos e jurídicos para seu cumprimento.

Como a análise documental resultou em uma não identificação dos impactos

econômicos relacionados a tal política, passou-se ao desenvolvimento de um modelo que pudesse esclarecer este ponto. Deste modo, foram utilizados dados da Agência Nacional do Petróleo e da PETROBRAS para a identificação dos custos da produção do diesel e do biodiesel, bem como a construção de uma série histórica explicitando o comportamento da diferença de seus custos. Em seguida foram utilizados dados de georreferenciamento fornecidos pela Google e literatura especializada para o cálculo da distância e da capacidade de biodiesel capaz de ser transportada em um único trajeto da rota de distribuição, que ao serem cruzados com os dados da Agência Nacional de Transportes Públicos e o Grupo Executivo de Integração da Política de Transportes permitiram o cálculo do impacto logístico e seus efeitos econômicos sobre o impacto da política. Agregando estes resultados e realizando as adaptações necessárias, tornou-se possível realizar a estimativa do custo associado à elevação pretendida da concentração de biodiesel em ônibus urbanos na cidade do Rio de Janeiro, que em seguida pôde ser comparada aos benefícios econômicos ocasionados pela adoção de tal prática, calculados por meio do método de valoração ambiental.

Como dados utilizados para o cálculo do impacto econômico-ambiental provocado pela adoção de gás natural nos ônibus do município foram utilizados o total da frota circulante e seu consumo médio de combustível, que ao serem adaptados por metodologias apresentadas por SALDIVA *et al* (2018) e KNIGHT e YOUNG (2009) permitiram o cálculo da redução associada a esta conversão e a consequente valoração ambiental ocasionada pela redução destes impactos. A exemplo dos estudos utilizados como base para a construção do modelo, desprezaram-se os possíveis custos de produção e logística, posto que já existe produção para atender a esta demanda e não foram produzidos até o momento estimativas para prever os custos de entrega do bem às garagens das concessionárias.

Finalmente, utilizaram-se como dados para o cálculo econômico dos impactos ambientais associados à utilização de ônibus elétricos no município as modelagens operacionais e financeiras desenvolvidas pelo “Grupo de Trabalho *Zero Emission Bus Rapid-deployment Accelerator*”, cuja função é analisar a viabilidade da implantação desta alternativa no município, conforme se verá no capítulo cinco deste estudo. Estas modelagens envolvem dados relativos a diferentes taxas de juros a serem utilizadas para a aquisição destes veículos e tomadas em bancos públicos e privados (custo de financiamento), custos relativos à aquisição de energia elétrica para seu funcionamento e redução da poluição ocasionada pela adoção desta medida

2.6.2 Seleção e Coleta dos entrevistados integrantes das políticas públicas de transporte público municipal

Em paralelo à análise quantitativa a respeito da viabilidade econômica da implantação de ônibus sustentáveis no município do Rio de Janeiro, realizou-se um estudo qualitativo com o objetivo de identificar as perspectivas dos diferentes atores envolvidos no processo de transição da frota de ônibus urbanos do município para um modelo sustentável. Sob a ótica de uma análise integrada de política pública, têm-se que sua viabilidade econômica é tão importante quanto a inclinação dos diversos atores envolvidos em executá-la. Uma vez assegurada esta disponibilidade, os diferentes enquadramentos (CRESWELL, 2007) a respeito do objeto e objetivos da política podem ser modulados por seus diferentes atores de acordo com seus interesses e/ou perspectivas particulares, formuladas a partir de seu relacionamento prévio com a questão a ser tratada.

Neste sentido, o esforço aqui empreendido busca identificar a inclinação dos diferentes atores envolvidos na política municipal de transportes sustentáveis em executá-la, bem como explorar suas concepções (CRESWELL, 2007; BARDIN, 2006) a respeito de seus diferentes aspectos, como conceituação, custo, benefícios, prazos e fontes de financiamento. Constituiu procedimento metodológico intencional a realização das entrevistas após concluída a etapa de análise econômica descrita no capítulo anterior, fator este que permitiu um aprofundamento na sua condução.

A entrevista semiestruturada foi selecionada como abordagem metodológica por facilitar o aprofundamento dos respondentes a respeito do tema proposto (GÜNTHER, 2006; BARDIN, 2006), o que atende ao objetivo deste estudo uma vez que permite contrapor as opiniões colhidas aos resultados encontrados pela etapa quantitativa da análise.

Como estratégia de seleção dos entrevistados, utilizou-se como referência os agentes integrantes da política citados nos documentos oficiais mencionados na seção anterior, com destaque para o Plano Municipal de Transportes Sustentáveis (RIO DE JANEIRO, 2015), o processo administrativo Rio nº 03/000.084/2019 (referente ao projeto de biodiesel no SPPO) e os relatórios do Grupo de Trabalho para eletrificação da frota de ônibus municipais (RIO DE JANEIRO, 2019). Como atualmente não

existem políticas públicas municipais para implantação de ônibus movidos a gás natural, utilizou-se como fonte de seleção de entrevistados para este campo os documentos relativos à experiência correlata ocorrida no estado do Rio de Janeiro em 2011, nos quais se identificam como principal agente de transição o escritório local da Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Gás Canalizado (ABEGAS).

Neste sentido, os entrevistados identificados foram divididos em dois grupos, sendo eles os representantes da iniciativa privada e representantes de órgãos públicos, conforme demonstra tabela a seguir:

Quadro 2- Entrevistados selecionados para a análise qualitativa

Grupo Representativo	Instituição
Iniciativa Privada	União Brasileira de Biodiesel e Bioquerosene
	Associação Brasileira de Empresas Distribuidoras de Gás Encanado
	Sindicato das Empresas de Ônibus da Cidade do Rio de Janeiro
Órgãos Públicos	Plano Municipal de Mobilidade Urbana Sustentável
	Secretaria Municipal de Meio Ambiente
	Secretaria Municipal de Transportes
	Empresa de Pesquisa Energética

Fonte: Elaboração própria

A pesquisa bibliográfica e documental empreendida nos capítulos 3 e 4 da presente dissertação atuou como elemento estruturante na construção do roteiro de entrevistas (VERGARA, 2000; ZANELLI, 2002). Esta contribuição permitiu a identificação de elementos ainda não explorados pela literatura ou apontados por ela como críticos na elaboração e execução de uma política pública de transportes sustentáveis.

Neste sentido, as questões foram elaboradas de modo a compor cinco blocos sequenciais de tratamento do tema abordado. Inicialmente, as questões 1 e 2 buscam identificar a propensão dos respondentes a apoiar uma política de transição energética sustentável nos ônibus municipais, identificando qual solução seria a mais indicada. As questões 3 e 4 buscam respectivamente identificar os custos e benefícios apontados pelos respondentes a respeito de cada solução tecnológica, permitindo também que estes tracem paralelos e comparações entre as alternativas. Em seguida,

a questão 5 trata especificamente da percepção do respondente a respeito da atual política pública atuante no setor, o que permite identificar como o entrevistado avalia sua incidência sobre a alternativa que considera mais adequada e sobre as demais. O bloco seguinte é composto pelas questões 6 a 8 e buscam explorar a percepção do respondente aos diversos fatores integrantes de uma eventual transição energética para cada uma das soluções apresentadas, tais como prazos, redução da poluição e financiamento – estas questões são de particular importância para o estudo uma vez que explicitam os processos de cada transição identificados pelos participantes. Finalmente, a questão 9 aborda a previsão de como o atual cenário irá se desenvolver pelos próximos dez anos e a questão 10 busca explorar algum eventual ponto não coberto pelo roteiro desenvolvido, reproduzido abaixo:

Roteiro de Entrevistas

1 – Na sua opinião, os ônibus urbanos da Cidade do Rio de Janeiro devem transicionar para a sustentabilidade? Por quê?

2 – Em caso positivo, qual solução deveria ser adotada? Por quê?

3 – Na sua opinião, quais os custos associados a cada solução apresentada?

3.1 – Biodiesel

3.2 – Gás Natural

3.3 – Eletricidade

4 – Tendo em vista estes custos, quais são os benefícios associados a cada solução apresentada?

4.1 – Biodiesel

4.2 – Gás Natural

4.3 – Eletricidade

5 – Como você avalia as Políticas Públicas municipais de transportes sustentáveis?

6 – Classifique de 0 a 10 a viabilidade de cada solução apresentada para a implantação de ônibus sustentáveis no município do Rio de Janeiro:

6.1 – Biodiesel

6.2 – Gás Natural

6.3 – Eletricidade

7 – Atribua, em anos, um prazo para a implantação de cada solução:

7.1 – Biodiesel

7.2 – Gás Natural

7.3 – Eletricidade

8 – Atribua um grau de importância para os fatores abaixo, em uma escala de 0 a 10:

8.1 – Redução da Poluição

8.2 – Custo financeiro

8.3 – Prazo de implantação

8.4 – Investimento Público

8.5 – Investimento Privado

9 – Quais são suas expectativas e previsões a respeito da transição para mobilidade pública sustentável na cidade do Rio de Janeiro?

10 – Alguma consideração adicional a respeito da transição dos ônibus do Rio de Janeiro para um modelo sustentável?

As entrevistas foram realizadas entre 13/12/2020 e 14/05/2020, sendo quatro presenciais e três por videochamada, devido ao estado de isolamento social experienciado no período. A entrevista piloto foi realizada com Luis Filipe Veillard, economista da Secretaria Municipal de Transportes do Rio de Janeiro, contribuiu em grande parte para desenvolvimento da pesquisa ao expor as especificidades de uma visão institucional dirigida sobre uma política pública – sendo conseqüentemente incluída no escopo do estudo. Contando com a concordância de todos os entrevistados para esta etapa metodológica, o estudo garantiu o anonimato das fontes, de modo que as opiniões emitidas pelos respondentes não são identificadas direta ou indiretamente, compondo assim um sistema de relação fonte/ conteúdo acessível somente para o autor desta dissertação.

3. Mobilidade Sustentável enquanto Política Pública: Os antecedentes do caso brasileiro

Neste capítulo busca-se localizar a discussão da mobilidade urbana sustentável no contexto da literatura pertinente. Para tanto, resgata-se brevemente a evolução conceitual do tema dos transportes sustentáveis, para em seguida localizá-lo nos dois eventos internacionais nos quais seu desenvolvimento assumiu protagonismo nas políticas estatais: os dois choques do petróleo, ocorridos respectivamente em 1973 e 1981. Argumenta-se que estes fatores foram estruturantes para a elaboração de políticas e ações que incentivaram e desenvolveram o mercado de transportes sustentáveis na medida em que o choque de preços incidente sobre o setor levou a uma crise na balança de pagamentos dos países importadores deste bem que justificaram um investimento exploratório em alternativas que se mostravam promissoras à época. Neste sentido, desenvolveram-se no Brasil políticas nacionais dirigidas pelo governo federal que buscavam estimular o setor de transportes sustentáveis do ponto de vista da oferta, conforme se explicitará ao identificar individualmente nas seções referentes ao álcool; biocombustível; gás natural e veículos elétricos. Têm-se, deste modo, que no Brasil a política de transportes sustentáveis desenvolveu-se como *spin-off* de uma política econômica e de defesa nacional, na medida em que buscou prioritariamente equilibrar a balança de pagamentos e reduzir a dependência de importação do setor petrolífero - que expunha o país à fragilidades geopolíticas cujos efeitos reverberavam sobre as estratégias de defesa e soberania nacional à época.

Sob ponto de vista da discussão conceitual, LADEIRA *et al* (2007) argumentam que ainda não existe um consenso acerca da definição de transportes sustentáveis ou mesmo de mobilidade urbana, tendo estes temas sido reiteradamente remodelados e redefinidos de acordo com a conjuntura presente quando de sua utilização. De acordo com COSTA (2008) a conceituação do tema em âmbito nacional data de 2006, quando o Ministério das Cidades definiu mobilidade urbana como a relação dos indivíduos presentes em um espaço e os meios e objetos empregados para seu deslocamento. No ano seguinte, o EUROFORUM (2007) empregou uma definição mais ampla ao conceito, que passou a abarcar o acesso dos indivíduos a diferentes

espaços, bem como o impacto que este acesso provoca sobre as atividades desempenhadas pelos indivíduos (como a produção e comercialização de bens e serviços, lazer, educação, residência, trabalho e outros). Adicionalmente, o texto acrescenta que cabe às cidades prover a infraestrutura na qual os bens e serviços relacionados à mobilidade urbana irão operar. De acordo com SINGER (1980) e BERTOLINI et al. (2008) os processos progressivos de urbanização global trazem consigo uma pressão crescente sobre a provisão urbana de infraestrutura relativa a mobilidade de seus habitantes e dos bens que produzem. Estas pressões se traduzem objetivamente no interior da cidade como desafios aos planejadores do espaço público, uma vez que nas palavras de COSTA (2008):

Estes impactos incluem congestionamentos, emissão de poluentes, ruído, fragmentação de comunidades, acidentes, uso de energia não-renovável e produção de resíduos sólidos. Para complicar ainda mais os problemas existentes, as medidas mitigadoras destes impactos têm implicado no aumento dos custos para expansão da infra-estrutura urbana.

COSTA (2008)

Tem-se, portanto, que a partir deste momento o conceito de mobilidade urbana sustentável foi introduzido no debate – mais como uma ferramenta para enfrentar um iminente colapso da infraestrutura urbana a curto prazo do que como solução a longo prazo para enfrentar questões como o aquecimento global ou a depleção de recursos minerais não renováveis. Conforme indicado anteriormente, a mobilidade urbana sustentável também permanece alvo de debate entre diferentes definições. De acordo com GUDMUNDSSON (2004), tal dificuldade de enquadramento conceitual do tema se justifica em três fatores, sendo eles:

1. Ausência de consenso quanto a parâmetros, métricas e demais critérios técnicos para a definição de um modelo de sustentabilidade aplicada à mobilidade urbana;
2. A existência de subprodutos derivados da atividade de transportes urbanos que, apesar de contribuir para a degradação ambiental, otimizam os benefícios privados dos indivíduos que os utilizam;
3. Incompatibilidade na aplicação de um consenso de transporte sustentável em um sistema social que *a priori* não está integrado a esta prática, provocando

incompatibilidades e conflitos em sua execução.

Ainda que estes fatores dificultem um consenso teórico sobre a questão, diversos atores do setor desenvolvem suas próprias conceituações, conforme demonstra o estudo produzido pela OCDE e pelo Grupo de Especialistas em Transportes e Meio Ambiente da Comissão Europeia, posteriormente aceito como referência pelo Conselho Europeu de Ministros de Transportes. Este estudo define como mobilidade sustentável aquela que contribui para o bem-estar econômico e social, bem como para a saúde humana e o meio ambiente. De acordo com o documento, o conceito de transporte sustentável se baseia nas seguintes diretrizes:

- Satisfação das necessidades básicas de acesso e transporte dos indivíduos de forma a respeitar os limites do ecossistema e da saúde humana, promovendo igualdade intra e intergeracional;
- Operar a partir de custos módicos e de forma eficiente, oferecendo liberdade de escolha entre os diferentes modais disponíveis e apoio a dinâmica de desenvolvimento urbano e regional;
- Limita as emissões poluentes resultantes da atividade de transporte em função da capacidade do meio ambiente de absorvê-los sem gerar danos a longo prazo, utilizando os recursos naturais em um ritmo igual ou inferior ao de sua renovação e reduzindo o uso do solo e de poluição sonora.

(OCDE *apud* MOURELO, 2002)

Este estudo está em sintonia com o Relatório Bruntland (KEEBLE, 1988), que considera como transporte sustentável aquele capaz de suprir as demandas da geração presente sem comprometer as futuras. Neste sentido, ORTÚZAR (1994) propõe um modelo no qual esta conceituação de transporte sustentável poderia ser desagregada em três fatores, sendo eles o combate à poluição, aos congestionamentos e aos acidentes. Não satisfeito com os limites inerentes à esta conceituação, VLEK (2003) desenvolveu uma abordagem multifatorial, cujos aspectos e dimensões foram sintetizados por LITMANN e BURWELL(2003), conforme demonstra o quadro 3:

Quadro 3- Dimensões da mobilidade sustentável

Econômica	Social	Ambiental
Congestionamento	Iniquidade dos impactos	Poluição do ar
Barreiras à mobilidade	Mobilidade diferenciada	Alterações climáticas
Custo de acidentes	Impactos na saúde humana	Perda do habitat
Custo dos equipamentos de transporte	Coesão comunitária	Poluição da água
Custo do usuário	Qualidade de vida	Impactos hidrológicos
Redução dos recursos não renováveis	Estética	Poluição sonora

Fonte: LITMANN e BURWELL (2003)

Seguindo este arcabouço conceitual, diversos acadêmicos e formuladores de políticas públicas buscaram adaptar o modelo às suas realidades tendo em vista o cenário de seu sistema nacional de transportes. No Brasil, tal esforço foi realizado por CARVALHO (2016), que conceituou a abordagem multifatorial da mobilidade urbana sustentável conforme sintetiza o quadro 4:

Quadro 4- Dimensões nacionais da mobilidade sustentável

Sustentabilidade Econômica	Justiça Social	Sustentabilidade Ambiental
Cobertura dos custos	Tarifa de TP inclusiva	Tecnologias mais limpas do ponto de vista ambiental (emissões e ruídos)
Balanceamento da oferta/ demanda	Inclusão social (combate à imobilidade dos mais pobres)	Veículos e infraestrutura adequados ao ambiente da operação (áreas de preservação histórica ou ambiental)
Investimento permanente na expansão da rede	Atendimento às áreas mais carentes com custo compatível a renda destes usuários (serviços sociais)	Baixa intrusão visual
Investimento permanente na melhoria dos serviços	Equidade no uso do espaço urbano	Planejamento Urbano e transporte integrados
Modelos de financiamento e remuneração viáveis	Progressividade no financiamento e regressividade na concessão dos benefícios sociais Acessibilidade universal ao transporte público	

Fonte: CARVALHO (2016)

Sob o aspecto jurídico, a mobilidade urbana sustentável foi inicialmente contemplada pela “Política Nacional de Mobilidade Urbana”, foi instituída a partir da lei nº 12.587/12 de 3 de janeiro de 2012, inaugurando o tema no marco jurídico brasileiro e trazendo em seu artigo 5º os seguintes princípios:

- Acessibilidade universal
- Desenvolvimento sustentável das cidades, nas dimensões socioeconômicas e ambientais
- Equidade no acesso dos cidadãos ao transporte público coletivo
- Eficiência, eficácia e efetividade na prestação dos serviços de transporte urbano
- Gestão democrática e controle social do planejamento e avaliação da Política Nacional de Mobilidade Urbana
- Segurança nos deslocamentos das pessoas
- Justa distribuição dos benefícios e ônus decorrentes do uso dos diferentes modos e serviços
- Equidade no uso do espaço público de circulação, vias e logradouros
- Eficiência, eficácia e efetividade na circulação urbana

(BRASIL, 2012)

Consoante ao segundo princípio elencado pela política, o inciso IV do art. 7º da lei trata especificamente de seu aspecto ambiental, definindo como um de seus objetivos “promover o desenvolvimento sustentável com a mitigação dos custos ambientais e socioeconômicos dos deslocamentos de pessoas e cargas nas cidades” (BRASIL, 2012). Para tanto, estabelece no inciso II de seu art. 23º a “estipulação de padrões de emissão de poluentes para locais e horários determinados, podendo condicionar o acesso e a circulação aos espaços urbanos sob controle” (BRASIL, 2012). No entanto, ao instituir ordenamentos legais a partir da esfera federal a serem adotados sobre todo o território nacional, a lei possuía uma potencialidade negativa: mecanismos *top-down* formulados unilateralmente. Estes poderiam desconsiderar as especificidades regionais e mesmo inviabilizar a capilaridade de suas medidas, uma vez que incidiria sobre o pacto federativo do setor de transportes, sintetizado no quadro 5:

Quadro 5- Distribuição federativa de competências no setor de transportes

Atribuições dos Entes Federativos		
União	Estados	Municípios
Assistência técnica e financeira aos Estados, DF e municípios;	Prestar os serviços de transporte público coletivo intermunicipais de caráter de caráter urbano;	Planejar, executar e avaliar a Política de Mobilidade Urbana;
Capacitação e desenvolvimento das instituições nos Estados, DF e municípios;	Propor política tributária específica e de incentivos para a implantação do PNMU	Promover a regulamentação dos serviços de transporte urbano;
Sistema Nacional de Mobilidade Urbana;	Garantir a integração dos serviços nas áreas que ultrapassam os limites de um Município.	Capacitar pessoas e desenvolver instituições;
Fomentar projetos de grande e média capacidade, nas aglomerações urbanas e regiões metropolitanas;		Prestar os serviços essenciais de transporte público coletivo urbano.
Apoiar ações coordenadas entre Municípios e Estados em áreas conurbadas.		

Fonte: Ministério das Cidades (2012)

Deste modo, a Política Nacional de Mobilidade Urbana criou a figura do Plano de Mobilidade Urbana, a ser obrigatoriamente elaborado e instituído por municípios que possuam mais de vinte mil habitantes. Importante ressaltar que tal obrigatoriedade já estava parcialmente exigida a partir da lei nº 10.257/2001 de 10 de julho de 2001 (Estatuto da Cidade), que obriga a implementação de um Plano de Transporte Integrado para municípios com mais de 500 mil habitantes.

Apesar de toda a discussão e avanço na construção de uma agenda conceitual e legal que funde e ampare o setor de transportes sustentáveis em território nacional, as ações que objetivamente inauguraram e desenvolveram o setor no Brasil se deram a partir de fatores econômicos alheios à pauta ambiental, conforme se buscará abordar nas seções seguintes.

3.1 Choques do Petróleo, flutuação dos preços internacionais e vulnerabilidade exógena

Entre os múltiplos processos e ações integrantes das políticas públicas de mobilidade urbana sustentável, ocupam protagonismo aquelas referentes à transição do uso intensivo de derivados do petróleo para alternativas energéticas menos agressivas ao meio ambiente. No entanto, tais ações e medidas ainda não se encontram plenamente implementadas devido à influência capilarizada e intensiva que a indústria do petróleo exerce sobre os mercados nacionais e globais.

De acordo com QUEIROZ *et al.* (2016) e ROOS (2003), desde sua descoberta em 1859 por Edwin L. Drake em um poço na Pensilvânia, Estados Unidos, o petróleo se estabeleceu como a indústria energética mais sólida no contexto internacional do século XX. Contribuiu decisivamente para o desenvolvimento deste setor o interesse demonstrado pelos Estados Nacionais em sua expansão, dado que este proporcionava veículos mais velozes, apresentando economia significativa tanto de espaço quanto de mão de obra (TORRES FILHO, 2001, p.309 e 310).

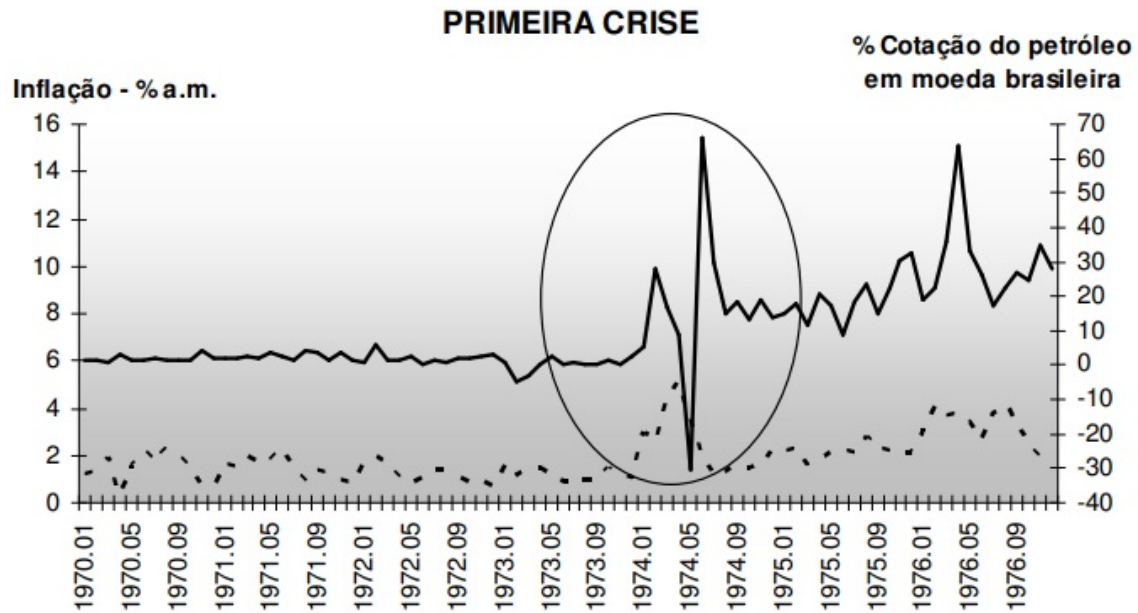
O advento da Segunda Guerra (1939-1945) estabeleceu em definitivo a relevância estratégica do bem sob o ponto de vista global. De acordo com ROOS (2003) os países que possuíam reservas seguras passaram a obter vantagens no deslocamento de suas tropas militares por meio de deslocamentos terrestres, navios e aviões. Segundo o autor, o acesso a este recurso pelos Estados Unidos e Rússia (URSS) à época se mostrou tão estratégico a ponto de conduzir os Aliados a uma vitória mais rápida e portanto encurtar a duração do confronto global – fato este corroborado pela escassez relativa do bem para os países que compunham o Eixo, como Japão e Alemanha (TORRES FILHO, 2004).

Neste sentido, é possível perceber que a dinâmica da indústria petroleira cresceu entrelaçada com a própria dinâmica de desenvolvimento dos Estados Nacionais no pós-guerras, uma vez que dizia respeito diretamente às suas estratégias de expansão e defesa. A este respeito, MALTA (1998) e SERRANO (2004) apontam que as flutuações dos preços internacionais do petróleo se refletem sucessivamente sobre a cotação das *commodities* em geral, sendo este processo operado em parte pela estratégia de defesa do dólar como moeda internacional e suas influências sobre o mercado do petróleo.

Tendo em vista a correlação entre a geopolítica internacional, o desenvolvimento

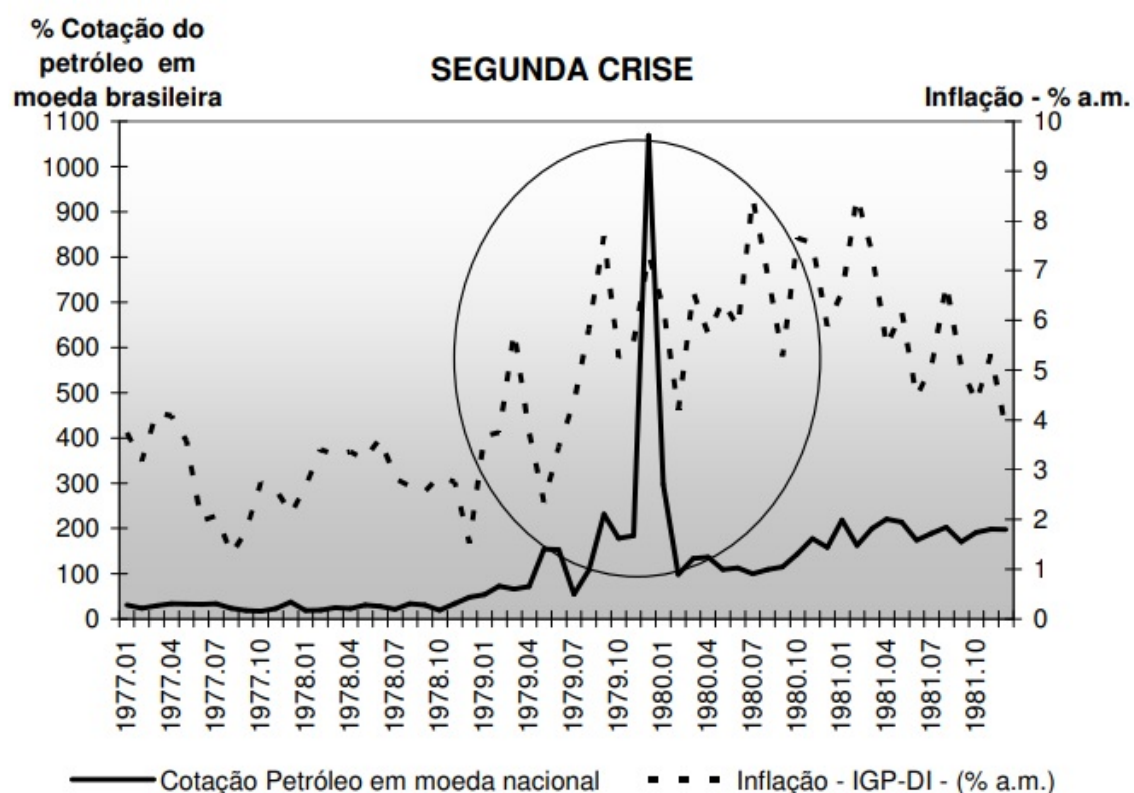
da indústria petroléira e a flutuação sobre os preços das *commodities*, é possível traçar um paralelo entre o comportamento da indústria e seus reflexos econômicos no Brasil. Para tanto, MELO (2008) apresenta inicialmente o impacto dos dois choques do petróleo sobre os preços internacionais do bem e seu impacto sobre a inflação brasileira, modelados nos gráficos abaixo:

Gráfico 6 - Correlação entre a primeira crise do petróleo e a inflação brasileira



Fonte: MELO (2008)

Gráfico 7 - Correlação entre a primeira crise do petróleo e a inflação brasileira



Fonte: MELO (2008)

Tendo em vista os impactos crescentes que o cenário geopolítico ocasionava sobre a flutuação dos preços internacionais do petróleo e sua correlação com os índices de inflação, o estado brasileiro passou progressivamente a sondar e incentivar políticas públicas que pudessem minorar a dependência do bem, seja pelo investimento da exploração nacional, seja pela busca de fontes de energia alternativas que pudessem impulsionar seus veículos domésticos, conforme se buscará identificar nas seções seguintes.

3.2 Flutuação do mercado de cana-de-açúcar enquanto fator endógeno

Ocupando a posição de maior produtor global de cana-de-açúcar, o Brasil se destaca no setor por seu histórico de produção e extensão da área cultivada. Tendo sido introduzida no país em 1525, a plantação da *commodity* atinge 720 milhões de toneladas anuais. De acordo com GOETTEMOELLER e GOETTEMOELLER (2007), a conversão do produto em álcool e sua utiliza o como combustível para motores a

combustão foi inicialmente apresentada por Nikolas Otto em 1860, tendo sido aplicada em 1896 por Henry Ford em um veículo automotor.

No cenário nacional, o álcool estava sendo estudado como alternativa para a utilização em veículos desde o início do século (TAVORA, 2011), tendo em 1925 o primeiro carro viajado do Rio de Janeiro a São Paulo (430 km) utilizando unicamente o produto. No mesmo ano foi promovida na Escola Politécnica do Rio de Janeiro a conferência “O álcool como combustível industrial no Brasil” pelo engenheiro Ernesto Lopes da Fonseca Costa, em um sinal de que havia uma perspectiva otimista da comunidade científica a respeito do tema.

No contexto de um processo nacional de industrialização a partir das rendas obtidas a partir do setor agroexportador, o governo do presidente Getúlio Vargas criou em 1933 o Instituto do Açúcar e do Alcool (IAA), que implementou medidas de incentivo como o uso de cotas de produção, controle estatal sobre toda a cadeia de produção e comercialização interna e externa do produto (TAVORA, 2011). No entanto, tais iniciativas não apresentaram muito fôlego, tanto pela depreciação do produto (a cotação do açúcar na década de 30 era um terço do que havia sido na década de 20) quanto pela sua competição com a crescente indústria petroleira e automobilística a partir de 1945, também fortemente incentivada pelo governo Vargas.

Conduzida a um papel coadjuvante no período 1945-1972, a indústria produtiva do álcool passou a assumir novamente notoriedade a partir de 1973, com o primeiro choque do petróleo, cujo preço médio do barril passou de US\$ 3,88 em 1973 para US\$ 12,55 em 1974, apresentando portanto uma inflação de 223,5%. A partir deste choque de custos, que reverberou sobre toda a economia nacional, o governo à época encontrou poucas alternativas a partir da cadeia produtiva já existente, dado que a reserva de novos poços de petróleo ainda não estava comprovada e a tecnologia para exploração em novos campos ainda não se encontrava plenamente desenvolvida. Deste modo, foi criado em 1975 o PROÁLCOOL, cujo principal objetivo era promover uma retomada do estímulo à produção de álcool para o setor energético e automobilístico nacional, conforme se buscará explorar na seção seguinte.

Apesar da elevação brusca do preço internacional do barril de petróleo ter representado um fator crucial para a criação do PROÁLCOOL, cumpre esclarecer que o comportamento do mercado do açúcar também foi um fator decisivo para a tomada desta decisão. Como característica deste comportamento pode ser apontada a dificuldade de exportação do produto, que possui muitos concorrentes no mercado

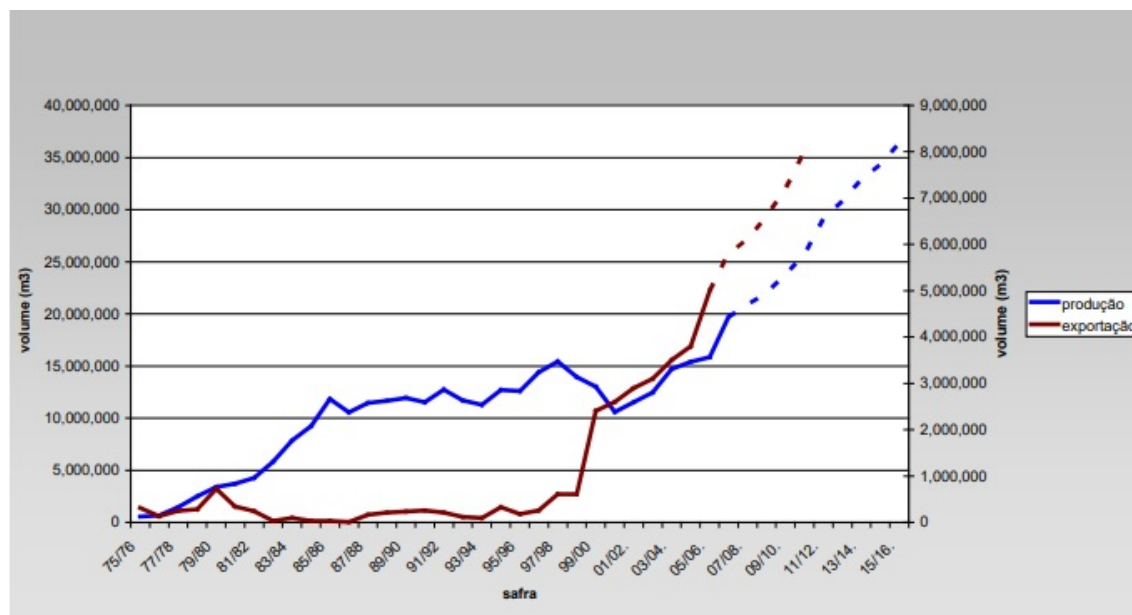
externo dado que não apresenta maiores restrições geográficas para sua produção. Por isso, o Brasil é um tomador de preços do bem no mercado internacional, uma vez que suas exportações não são capazes de determinar o preço do produto no exterior, o que reduz suas vantagens comerciais e de acordo com VIAN (2013) se explica pelas seguintes razões:

- A produção açucareira mundial é realizada tanto a partir de uma planta de cultura tropical (cana-de-açúcar) como de uma cultura temperada (beterraba açucareira), de modo que a força dos maiores exportadores do produto é, em termos, arrefecida no mercado externo;
- Intervenções governamentais ocorrem, costumeiramente, em várias regiões produtoras de açúcar e caracterizam o protecionismo no mercado internacional;
- A concorrência e a substituição do açúcar por outros produtos, como xarope de milho, sacarina, aspartame e ciclamato, atingem o mercado do açúcar.

VIAN (2013)

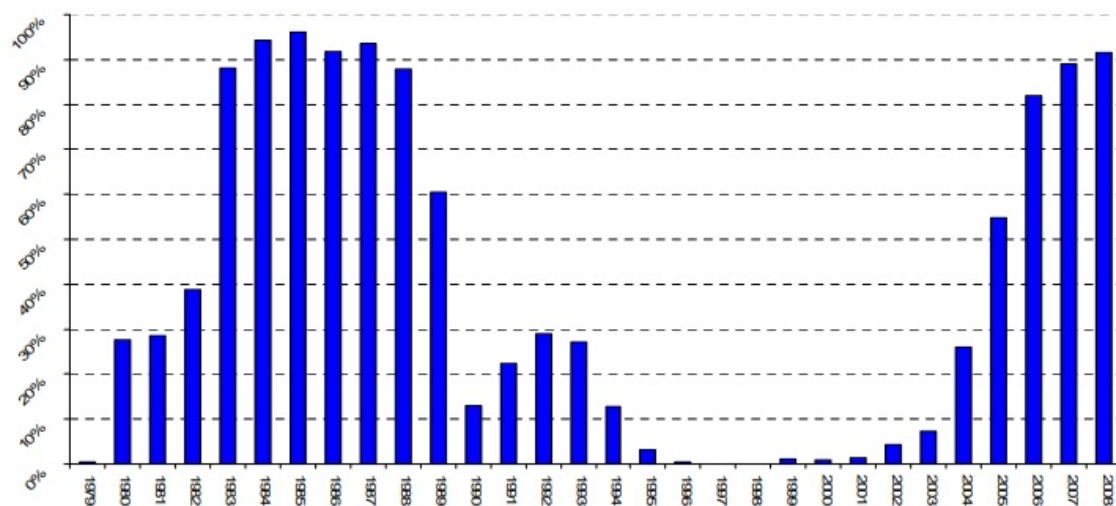
O conjunto de fatores apresentados acima tornaram o consumo da cana-de-açúcar mais vantajoso para o mercado interno do que para o externo, principalmente em um cenário no qual poderia atuar progressivamente como substituto do petróleo, através de sua transformação em álcool – conforme demonstram os gráficos 8 e 9.

Gráfico 8- Evolução e Projeção da Produção e Exportação Álcool Etílico no período 1975- 2016



Fonte: MICHELLON (2008)

Gráfico 9- Venda de carros a álcool e *flex fuel* no Brasil no período 1979 – 2008



Fonte: TAVORA (2011)

Tem-se, portanto, que a opção por políticas públicas que privilegiassem produtos cuja produção significassem menor impacto sobre o meio ambiente foi fruto não de uma pauta ambiental nacional, mas pelo conjunto de fatores econômicos e geopolíticos locais e globais relacionados à exploração, produção e comercialização destes bens, que em última instância deram início a uma série de programas, tendo sido o PROÁLCOOL o pioneiro e de maior projeção nacional à época.

3.3 Políticas Públicas de estímulo ao Álcool

Com o objetivo de equacionar os sucessivos déficits causados na balança de pagamentos, que em 1975 somavam US\$ 3 bilhões, tendo a importação de petróleo consumido 47% das divisas internacionais pertencentes ao Brasil (NETTO, 2007), foi lançado em 14 de novembro do mesmo ano o PROALCOOL. Com o objetivo de substituir a utilização em larga escala dos derivados do petróleo, o programa adotou uma política de adição progressiva e obrigatória do álcool sobre a gasolina, sendo esta inicialmente fixada em 4,5% em 1977.

Dois anos após o início de misturas obrigatórias entre o álcool e a gasolina comum, se instaura em 1979 um choque dos preços do petróleo como consequência das instabilidades políticas no Irã (grande produtor do bem). Apesar de uma elevação linear e constante após o choque provocado pela primeira crise, o preço médio de um barril de petróleo passou de US\$ 18,36 em 1979 para US\$ 30,72 em 1980 e US\$ 36,59 em 1981 (TAVORA, 2011), o que novamente apresentou uma inflação de aproximadamente 100% sobre o produto.

Frente a este cenário e seu impacto sobre a matriz de custos brasileira (fruto da presença de derivados de petróleo enquanto indutores de diversas cadeias produtivas domésticas), tornou-se cada vez mais urgente estruturar a viabilidade de uma substituição mais significativa do petróleo em território nacional – especialmente sobre o setor de transportes. Para tanto, em 1979 elevou-se a participação obrigatória da concentração de álcool sobre a gasolina para 15%, iniciando-se também a transição para a utilização em larga escala de veículos movidos a álcool no Brasil – parte deste processo sendo induzido pela própria preferência dos consumidores de veículos automotivos que buscavam reduzir seus custos, dado que o álcool era mantido a preços competitivos via subsídios federais.

É importante ressaltar que além da adição progressiva do álcool sobre o consumo dos veículos, o PROÁLCOOL também previa metas progressivas para garantir a demanda do produto que estava sendo gerado, tendo o Ministério da Indústria e Comércio em 1980 ao analisar a primeira fase do programa informado que a meta então estabelecida de 3 bilhões de litros para o período havia sido cumprida (conforme demonstra tabela1), sendo portanto viável uma adição futura de 20% do

álcool sobre a gasolina.

Tabela 1- Evolução da Produção de Etanol no Brasil no período 1975 – 1980

Safra	Produção (bilhões de litros)	Crescimento (%)
75/76	0,6	-
76/77	0,7	17
77/78	1,5	114
78/79	2,5	67
79/80	3,6	44
Total	8,9	-

Fonte: TAVORA (2011)

Seguindo o programa definido pela política e o acirramento dos preços do barril de petróleo, as novas metas fixadas pelo PROÁLCOOL compreendiam a produção de 900 mil carros em 1982, a conversão de 270 carros de gasolina para álcool e a produção de 10,7 bilhões de litros de álcool em 1985 – sendo 97% deste volume destinado ao uso carburante. Parte do sucesso no cumprimento destas metas reside no fato de que o álcool misturado à gasolina é o anidro, ao passo em que o desenvolvimento de motores à álcool permitiu o uso do álcool hidratado, cujo processo de produção é mais simples.

Para garantir a oferta para uma demanda cada vez mais estimulada pelos veículos convertidos, o governo federal apoiou projetos de produção de álcool a partir de diversas matérias-primas, como a mandioca, o sorgo sacarino e babaçu. Apesar da produção a partir da cana-de-açúcar ter tomado a hegemonia sobre os outros insumos na cadeia produtiva, é importante observar que o PROÁLCOOL permitiu que diferentes modos de produção e seus respectivos insumos competissem e se estabelecessem no mercado, não adotando pressupostos que privilegiassem *a priori* determinado modo de produção ou matéria-prima.

Este processo propiciou que em 1985, 92% dos carros comercializados no país fossem movidos a álcool hidratado, tendo a mistura obrigatória sobre a gasolina alcançado a concentração de 22% de álcool anidro. Paralelamente, o desenvolvimento do programa gerava seus efeitos econômicos pretendidos, tendo no período 1975-1985 economizado US 10 bilhões em reservas internacionais (escassas à época), bem como gerado cerca de 700 mil empregos diretos e indiretos. A principal meta do programa também estava sendo atingida: ao reduzir a exposição nacional à escassez

imposta pelo mercado externo, o Brasil reduziu sua dependência de 36% em 1979 para 16% em 1974 – no caso do setor de transportes esta dependência passou de 79% para 42% no período. De acordo com GUSMÃO (1985) somente o mercado de carburantes estimulado pelo programa gerou US\$ 5,83 bilhões no período 1978-1985, o que apontava para o sucesso definitivo das iniciativas propostas pelo programa.

No entanto, a partir de 1986 (ainda em um contexto de grande produção de carros movidos a álcool) o programa começa a experimentar uma desaceleração contínua. Não por acaso, no período 1986-1987 o preço médio do barril de petróleo havia deflacionado a ponto de atingir preços somente praticados na década de 70 (MELO, 2008).

Além da substituição do álcool pela gasolina se mostrar cada vez mais razoável, outros fatores contribuíram para a limitação dos resultados do programa, como a crise econômica experimentada pelo Brasil na década de 80, cujos efeitos reduziam significativamente a capacidade do Estado na intervenção do domínio econômico e produtivo, especialmente quando esta intervenção implicava a realização de subsídios e investimentos.

Frente a um cenário de crise da dívida externa, hiperinflação, declaração da moratória e sucessivos planos macroeconômicos fracassados, NETTO (2007) aponta que em 1987 a PETROBRAS declarou que a conta do álcool gerava prejuízos de US\$ 500 mil por dia – o que em um período de ajuste fiscal constituía um forte argumento para os críticos ao programa. Do ponto de vista social, o PROÁLCOOL também experimentava resistência do mercado consumidor de automóveis, posto que a tecnologia de produção e conversão dos motores não estava plenamente atingida, o que causava efeitos corrosivos sobre os carburadores e comprometiam as partidas a frio dos motores. Ainda sob o ponto de vista social, o programa teve sua imagem desmoralizada junto a população (GONÇALVES, 1995; MPF, 2020; SILVA, 2010) ao se revelar a fraude na qual cerca de 20 milhões de reais foram subtraídos dos cofres públicos sob o pretexto de se realizar empréstimos para o plantio fictício da mandioca – que culminou com o assassinato do Procurador da República responsável pelo caso, 14.000 hectares de terras utilizadas para a fraude e apenas R\$ 255 mil restituídos aos cofres da União.

Em face deste cenário, é extinto em 1990 o Instituto do Açúcar e do Alcool, principal indutor da produção deste insumo para aplicação no setor de transporte, levando ao que BRAY, FERREIRA e RUAS (2000) e ANDRADE (2009) definiram

como uma estagnação do PROÁLCOOL. Este processo conduziu novamente a utilização do álcool veicular para um papel coadjuvante junto às misturas na gasolina, inviabilizando seu uso como a fonte de energia principal na estruturação do setor nacional de transportes.

3.4 Políticas Públicas de estímulo ao Biodiesel

O biodiesel é um biocombustível cuja principal aplicação é a substituição do diesel originado do petróleo. Por esta razão, representa uma alternativa viável de substituição energética para os ônibus urbanos brasileiros, uma vez que implica na redução significativa da poluição atmosférica (D'AGOSTO *et al.* 2018).

Originado a partir de diferentes matérias-primas, como a soja, palma, girassol, mamona, amendoim e gordura animal por meio de um processo de transesterificação de óleos e gorduras, sua diversidade de insumos e processos de produção possíveis configura uma vantagem do produto, uma vez que permite que diferentes produtores exerçam suas vantagens produtivas e geográficas para a produção do bem.

Apesar de ter sido desenvolvido inicialmente na Europa (QUEIROZ *et al.*, 2016), AFONSO e CASTRO (2011) apontam que o Brasil foi um dos primeiros países a registrar patentes do produto, em 1980. Neste período, ainda sob forte influência do segundo choque do petróleo e seus efeitos sobre a economia nacional, o Governo Federal lança o Programa Nacional de Óleos Vegetais para Fins Energéticos (PROÓLEO), que compreendia o PRODIESEL como um de seus subprogramas (MATTEI, 2010). No entanto, a estabilização dos preços do petróleo desestimularam seu desenvolvimento, sendo extinto pouco tempo depois sem apresentação de resultados expressivos.

Tendo permanecido na periferia do debate acerca dos combustíveis preferenciais para a aplicação sobre veículos automotores, sua viabilidade voltou para o centro do debate na década de 90 na esteira da reestruturação da matriz energética nacional. Neste sentido, em 1998 a Agência Nacional do Petróleo emite a Resolução nº 180 e autoriza a realização de testes e comercialização de combustíveis não especificados, tendo a Universidade Federal do Rio de Janeiro sido a primeira instituição a realizar testes para aplicação do biodiesel em motores de combustão interna (MATTEI, 2010).

Concluindo pela viabilidade técnica e econômica do biodiesel enquanto solução energética nacional em 2001, a COPPE/ UFRJ contribuiu para a criação do Programa

Brasileiro de Biocombustíveis (PROBIODIESEL) em 2002, cujos objetivos eram ampliar a produção de oleaginosas, incentivar a demanda por combustíveis não-fósseis e reduzir a emissão de poluentes. É importante salientar que estas iniciativas foram estimuladas pela necessidade de cumprimento das metas estabelecidas no Protocolo de Kyoto, que passaria a vigorar em território nacional em 16 de fevereiro de 2005.

A troca de gestão no governo federal a partir das eleições em 2003 implicou na adição de um caráter social ao programa, que foi renomeado como Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB) em 2004. Entre as medidas que reformularam o PNPB figuram principalmente as que promoveram a inclusão social e regional no contexto da produção do biodiesel. Para tanto, foram reduzidas as alíquotas do PIS/ PASEP e COFINS para produtores que possuíssem o “Selo Combustível Social”, fornecido pelo Ministério do Desenvolvimento Agrário. Para fazer jus ao selo, os produtores de biodiesel deveriam adquirir a matéria-prima através de agricultores familiares selecionados pelo Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF). De acordo com a Instrução Normativa nº 2 de 30/09/2005 do programa, tais insumos deveriam ser provenientes de agricultores familiares em percentuais mínimos de 50% na região nordeste e no semiárido, 30% na região sul e sudeste e 10% nas regiões norte e centro-oeste.

Além de estimular a oferta, o poder público também definiu mecanismos para assegurar a demanda do biocombustível por meio de suas concentrações obrigatórias sobre o diesel de origem fóssil já comercializado. Por meio da Lei nº 11.097 de 13 de janeiro de 2005, fixou-se em três anos o prazo para a implementação de 2% de biodiesel sobre o diesel comum, concentração esta que foi elevada progressivamente até os atuais 12% previstos pela Resolução nº 16 do Conselho Nacional de Política Energética, de 29 de outubro de 2018.

Apesar de atender a um objetivo social, MAIA (2012) aponta que o PNB são se sustenta financeiramente, uma vez que o custo-benefício do programa é negativo ao apresentar uma taxa estável de benefícios gerados e custos crescentes. A fim de corrigir este erro, EPE (2017) explicita que os compromissos reconhecidos pelo Brasil na Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas em dezembro de 2015 foram o fator decisivo que levaram a uma alteração na política nacional de biocombustíveis, que passou a buscar outras ferramentas para sua implantação.

Definida doze anos após o lançamento do PNPB, o “RenovaBio” foi anunciado pelo Ministério de Minas e Energia em dezembro de 2016 e formalizado pela Lei nº 13.576 de 26 de dezembro de 2017. Com a preocupação prioritária de redução de gases de efeito estufa e demais poluentes nocivos à saúde humana, o programa prevê uma série de instrumentos para sua efetivação, como a “definição de metas compulsórias anuais de redução de emissão de gases causadores do efeito estufa para a comercialização de combustíveis” (BRASIL, 2018).

Para realizar o acompanhamento e controle da política por meio das Metas Nacionais de Emissões previstas no programa (EPE, 2019), este prevê a expedição de uma Certificação Individual de Eficiência Energética-Ambiental (a exemplo do modelo europeu e norte-americano já em utilização). Ao se atribuir uma nota a cada certificação expedida aos produtores de biocombustíveis, estes terão seus créditos de descarbonização (CBIO) calculados a partir da nota alcançada. Definindo estes critérios de controle e incentivos, o RenovaBio pretende em última análise empregar uma ferramenta econômica (CBIO) para estimular a redução de poluentes atmosféricos.

3.5 Políticas Públicas de estímulo ao Gás Natural

Em consonância com o arrefecimento das políticas voltadas para o desenvolvimento dos biocombustíveis (especialmente o PROÁLCOOL) no fim da década de 80, o desenvolvimento do interesse público na expansão da produção e utilização do gás natural se intensifica neste período. Segundo QUEIROZ *et al.* (2016) o processo de maturação do setor partiu deste período devido a baixa disponibilidade de reservas até então.

Ainda que o período tenha sido acompanhado da estabilização relativa da cotação internacional do barril de petróleo, as preocupações ambientais quanto a intensividade de seu uso no setor de transportes passou a ser alvo de uma discussão mais profunda, conforme demonstrou a pauta dos debates internacionais, como a geração do Protocolo de Montreal sobre Substâncias que destroem a camada de ozônio em 1987. Neste sentido, o Conselho Nacional do Meio Ambiente determinou em 26 de setembro de 1984 por meio da Resolução CONAMA nº 10 que sua Secretaria Executiva produzisse estudos a respeito da poluição veicular e propostas de soluções para reduzi-las.

O cenário favorável para o desenvolvimento do gás natural enquanto solução para o setor de transportes passou a ser desenhado a partir do Plano Nacional de Gás Natural (PLANGÁS) em 1987, que buscou a princípio implementar o uso do GNV em 150 ônibus nas cidades do Rio de Janeiro e São Paulo. Apesar dos esforços governamentais, o plano não atingiu as metas determinadas, tendo sido apontado como principal fator de fracasso a ausência da prévia infraestrutura necessária para assegurar uma logística de fornecimento eficiente, além de entraves administrativos para efetivar a revenda de veículos usados (CAVALCANTI, 2005).

Na esteira do hiato experienciado pelo PROÁLCOOL, os entraves relativos à infraestrutura de fornecimento de gás natural veicular passaram a ser minorados com a promulgação da Constituição de 1988 (QUEIROZ *et al.*, 2016), que delegou aos estados a competência na distribuição do bem. Subsidiariamente, a Lei Federal nº 9.478 de 1997 contribuiu para o setor ao criar a Agência Nacional do Petróleo e incluir em seu escopo competências como “a separação das atividades de produção, transporte e distribuição do gás natural” (BRASIL, 1997). Deste modo, no período 1990-1994, a taxa anual de crescimento doméstico do setor GNV foi de 115%, o que representou uma elevação de 2 para 45 milhões de m³/ano.

Em 1996 o programa adquire novo fôlego com a meta do governo federal de elevar a produção em 12% adicionais. Para assegurar a demanda para a produção pretendida, no mesmo ano regulamentou-se sua utilização também nos veículos leves (com o objetivo de atrair o setor de táxis) – tendo o estado do Rio de Janeiro instituído a lei estadual nº 3.335 de 29 de dezembro de 1999, que estabelecia cotas reduzidas de impostos sobre a propriedade de veículos automotores (IPVA) cujo gás natural fosse sua fonte de energia preferencial. No âmbito do município, editou-se o Decreto nº 19.392 de 1º de janeiro de 2001, que determinou que novos postos de gasolina somente seriam licenciados se também fornecessem gás natural, bem como proibindo os postos antigos que não se adequassem a esta regra de participar de processos licitatórios com o poder público.

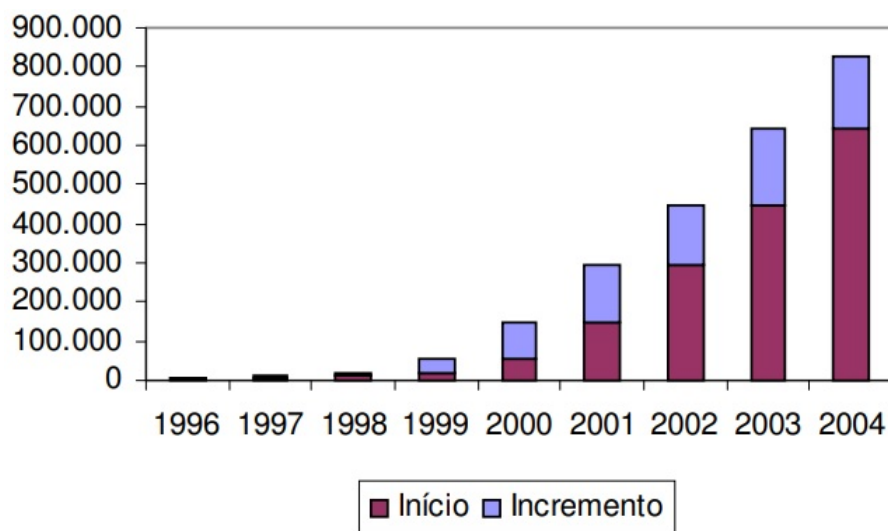
Como resultado das medidas apresentadas acima, observou-se um sucesso da expansão do gás natural veicular não só no Rio de Janeiro, mas em todo o território nacional (apesar da inflação de 43% no período 2001-2004), conforme se pode observar na tabela e gráfico abaixo:

Tabela 2- Conversão de Veículos para GNV no Período 1996 - 2004

Estado	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
AL				236	1.720	1.283	1.725	1.754	2.616
BA		32	39	217	3.138	5.796	6.170	9.332	8.916
CE				443	3.487	7.295	5.746	6.068	4.026
ES		2	100	373	4.915	4.776	7.005	6.673	2.606
MG		100	157	4.153	7.023	16.539	10.884	9.834	7.312
MS							33	963	2.305
PB		50	133	1.652	3.241	2.787	1.646	764	670
PE		18	98	1.129	6.030	7.587	5.238	5.019	5.517
PI									144
PR					31	3.668	3.313	4.533	3.049
RJ	4.000	2.729	5.530	19.034	33.024	60.224	60.373	62.123	75.680
RN		250	362	2.278	3.047	5.907	6.156	4.966	2.573
RS					11	4.367	5.097	5.328	4.861
SC				3		630	2.965	6.380	13.023
SE					1.463	1.658	2.434	1.959	1.752
SP	800	1.277	2.981	9.517	20.094	25.437	33.779	66.782	48.840
Total Anual	4.800	4.458	9.400	39.035	87.224	147.954	156.564	194.072	183.891
Varição Anual		-7,13	110,86	315,27	123,45	69,63	5,82	23,96	-5,25
Total Acumulado	4.800	9.258	18.658	57.693	144.917	292.871	449.435	643.507	827.398

Fonte: CAVALCANTI (2005) *apud* GASNET (2005)

Gráfico 10- Evolução da Frota de Veículos Movidos a GNV



Fonte: CAVALCANTI (2005)

Ao desenvolvimento da indústria do gás natural se seguiu a elaboração de um marco legal específico para o setor com alcance nacional, que se formalizou em 4 de março de 2009 com a lei nº 11.909/2009, então conhecida como a “lei do gás”. Estabelecendo regras e limites para as atividades que integram a cadeia produtiva do setor de gás natural (como tratamento, processamento, liquefação e comercialização), a lei foi posteriormente regulamentada pelo decreto nº 7.382/2010 em dezembro de 2010, não trazendo, no entanto, nenhuma política de desenvolvimento e incentivo ao setor.

Contribuem para a ausência de políticas nacionais estruturantes do setor de gás natural aplicado aos transportes (a exemplo do PLANGÁS), obstáculos de ordem técnica e econômica. Quanto aos entraves de ordem técnica, o principal diz respeito aos custos envolvidos na aquisição de veículos dedicados ou conversão dos já existentes, o que também dificulta o processo de revenda da frota antiga – dado que o município comprador (costumeiramente mais limitado em recursos e infraestrutura do que o vendedor) pode não dispor de uma rede de abastecimento e distribuição já estruturada. Quanto ao entrave econômico, CONCEIÇÃO (2006) argumenta que a conversão de todos os ônibus urbanos brasileiros movidos a diesel para a matriz do gás natural implicaria em uma redução do consumo nacional de diesel em apenas 8%. De acordo com o autor, ao não importar *a priori* em uma economia financeira relevante, tal conversão se justificaria apenas pelo seu aspecto ambiental, ponto o qual retornaremos no capítulo 5 da presente dissertação.

3.6 Políticas Públicas de estímulo aos Veículos Elétricos

Ao apresentar o maior potencial de redução de poluição atmosférica¹ entre as alternativas tecnológicas para substituição do petróleo e seus derivados, a discussão acerca da viabilidade dos veículos elétricos não é recente no debate de políticas públicas de transporte. Seu principal diferencial quando comparado às demais soluções presentes na pauta ambiental aplicada aos modelos vigentes (biocombustíveis e gás natural) é a substituição do motor de combustão interna por um que converta energia elétrica em cinética.

O primeiro registro de patente sobre o automóvel foi concedido em 1886 a Karl Benz, tendo propulsão veicular permanecido sem rota tecnológica definida até 1920 (BARASSA, 2015). Beneficiado pelas diversas inovações provenientes da segunda revolução industrial (SZMRECSÁNYI, 2001; MOWERY & ROSENBERG, 2005), tanto os motores a vapor quanto os elétricos e os movidos por combustão interna conviveram neste período (ANDERSON & ANDERSON, 2010).

Definida no período 1900-1920 em território norte-americano (CHAN, 2007; HOYER, 2008), a rota tecnológica dominante dos automóveis foi disputada pelos investidores e fabricantes das três tecnologias em questão durante todo o período. Em 1900 a frota de veículos no país era composta por 1.575 veículos elétricos, 1.681 veículos a vapor e 936 veículos movidos a combustão interna (COWAN & HÚLTEN, 1996; MOWERY & ROSENBERG, 2005). No entanto, entre 1900 e 1909 este quadro já havia sofrido uma inflexão a ponto das vendas de veículos elétricos terem dobrado, ao passo que as vendas veículos a combustão interna cresceram 120 vezes (COWAN & HÚLTEN, 1996).

As razões que explicam tal dinâmica são múltiplas. Em primeiro lugar, todas as três alternativas requisitavam postos de abastecimento, tendo a solução elétrica requerido a construção de eletropostos conectados a uma ainda incipiente rede de energia local. Os postos de gasolina, por outro lado, se mostraram uma solução mais barata e dinâmica, ao passo que uma rede de abastecimento veicular a gás sequer foi estruturada. Em segundo lugar, o modelo de desenvolvimento do sistema de transportes dos Estados Unidos estava associado a construção de uma rede de longas

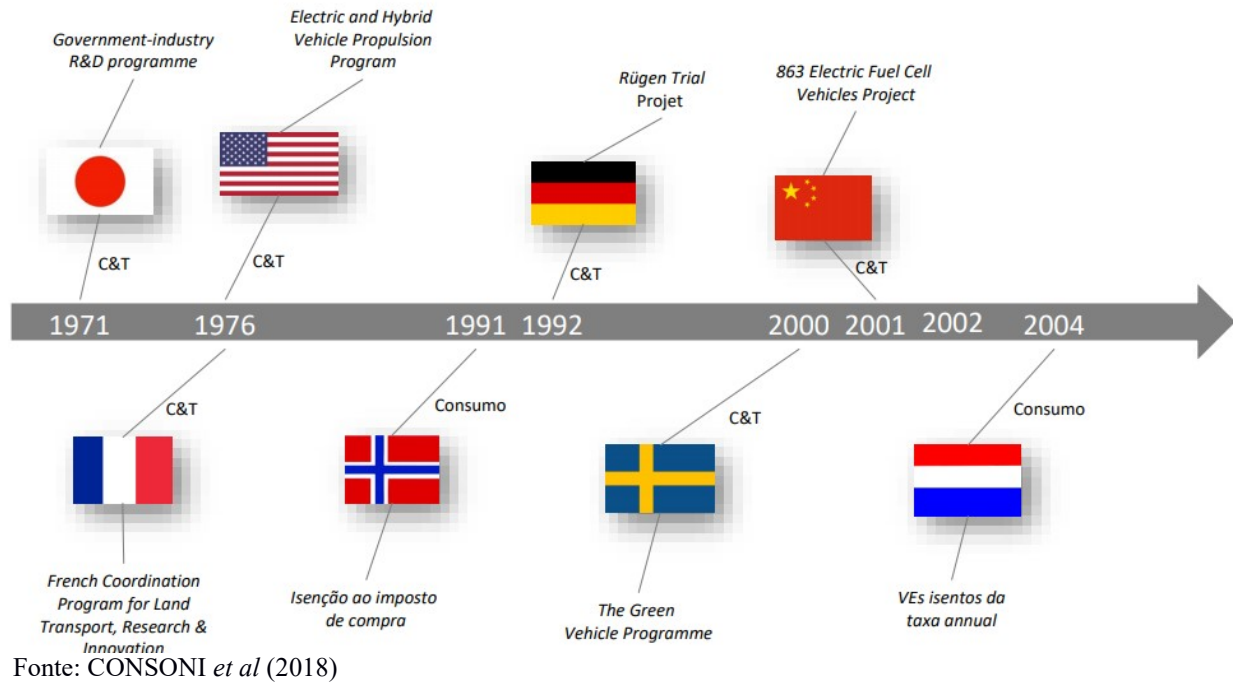
¹ Não se considerando o efeito da poluição colateral gerada pelo processo de produção e descarte das baterias e da energia elétrica consumida, cujos efeitos serão melhor discutidos na seção 5.3.2 deste estudo.

rodovias que solicitavam que os veículos que as percorriam possuíssem altas taxas de autonomia, o que no caso dos veículos elétricos se mostrou insuficiente à época. Finalmente, a descoberta de reservas de petróleo acessíveis no Texas e o expressivo desenvolvimento das companhias petrolíferas nacionais contribuíram para estabelecer definitivamente o motor de combustão interna como *design* dominante da nascente indústria automobilística.

Sob a perspectiva da articulação empresarial, cumpre esclarecer que houve uma articulação dos fabricantes de automóveis com os conglomerados petrolíferos de modo a alcançar maiores incentivos governamentais e assegurar a cada vez mais associada cadeia de produção relativa aos veículos automotores e derivados de petróleo (COWAN & HÚLTEN, 1996; ANDERSON & ANDERSON, 2010). Entre os instrumentos utilizados para este fim figurou a estratégia de aquisição de ações e patentes de empresas voltadas ao desenvolvimento do veículo elétrico pelos conglomerados petrolíferos e fabricantes de veículos movidos à combustão interna (COWAN & HÚLTEN, 1996; ANDERSON & ANDERSON, 2010). Finalmente, o empreendimento de construção de automóveis contendo motores de combustão interna em massa por Henry Ford levou a uma queda brusca do preço unitário do bem devido à economia de escala envolvida no processo de produção, tornando seu preço de seus veículos metade dos praticados pelos fabricantes de veículos elétricos (DOE, 2009).

Relegado a um papel secundário na indústria automotiva, os veículos elétricos somente retornaram ao debate internacional em 1973 com o advento do primeiro choque do petróleo (BARASSA, 2015). Impulsionados pela agenda ambiental internacional à época, uma série de medidas foram tomadas internacionalmente para estimular o setor, conforme demonstra a figura abaixo:

Figura 1- Linha do tempo das políticas de eletrificação veicular



No cenário nacional, FONTES (2018) apresenta vinte e quatro políticas públicas voltadas ao setor, segregadas de acordo com suas esferas federativas, conforme ilustra tabela abaixo:

Tabela 3- Políticas Públicas Nacionais de Eletrificação Veicular

	1997	2001	2006	2007	2008	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Total
Políticas Públicas				1	1	2		1	1	2					24
Federal									1			2	3	4	17
Estadual	2											1			4
Municipal											1	1	1		3

Fonte: FONTES (2018)

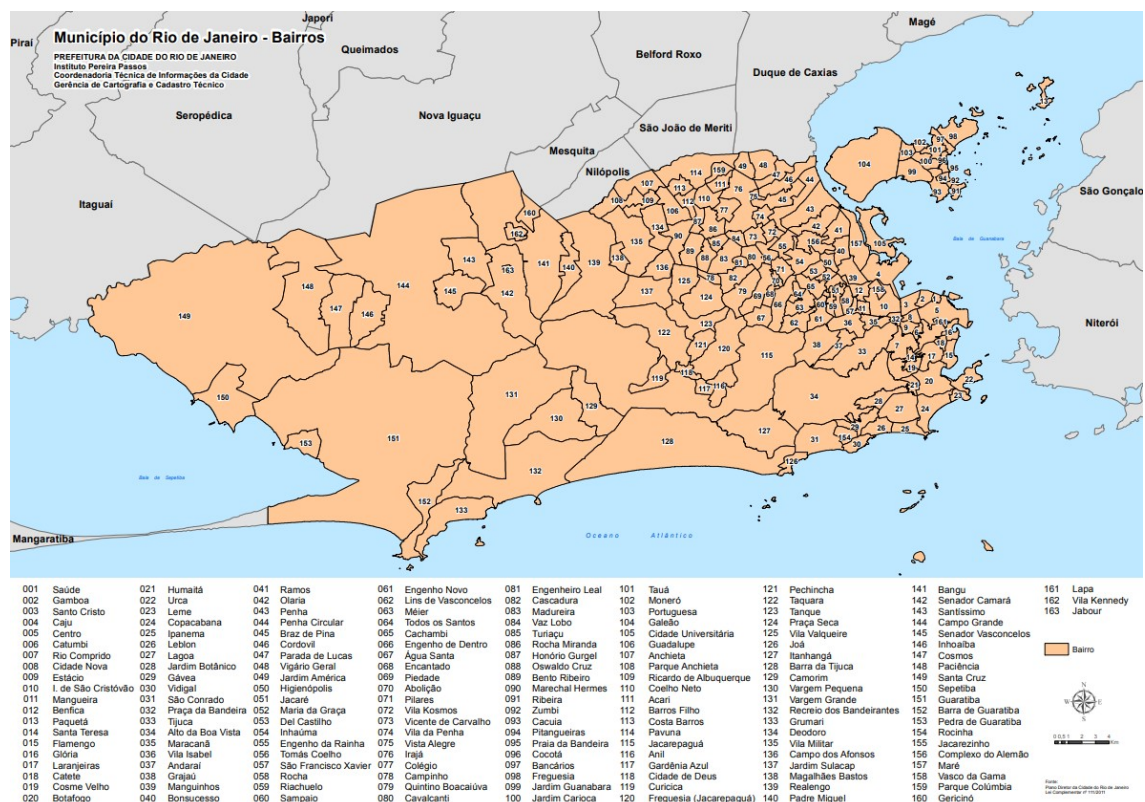
BARASSA (2018), por outro lado, argumenta que existam vinte e dois “instrumentos de políticas” voltados para o a eletrificação veicular, conforme sintetiza a tabela presente no APÊNDICE A do presente estudo.

Apesar destes esforços, a eletrificação veicular ainda não se implementou como alternativa ambientalmente sustentável no transporte público ou privado em território nacional. Apesar deste cenário, algumas experiências descentralizadas têm ocorrido em municípios brasileiros, como o caso do Rio de Janeiro, estudado mais detidamente na seção 5.3 deste trabalho.

4. Mobilidade Urbana e Meio Ambiente da Cidade do Rio de Janeiro

Localizada na faixa litorânea do sudeste brasileiro, a cidade do Rio de Janeiro integra a região metropolitana homônima e constitui capital do estado, contando com uma população estimada em 6.520.266 habitantes e um território de 1.197.463 km², resultando em uma média de 5.445,07 km² por habitante (IBGE, 2018), o que a torna a segunda maior metrópole do país.

Figura 2- Mapa da Região Metropolitana do Rio de Janeiro segundo seus bairros



Fonte: RIO DE JANEIRO (2015)

Além do porto da cidade, localizado no bairro do centro do Rio de Janeiro e de seus três aeroportos (Aeroporto Internacional Tom Jobim; Aeroporto Santos Dummont e Aeroporto de Jacarepaguá), o Sistema de Transporte Público do município é composto por quatro sub-sistemas: rodoviário, ferroviário, metroviário e aquaviário. O sistema rodoviário é composto por 6.848 ônibus, dos quais 346 compõem o acordo operacional *Bus Rapid Transit* (BRT), que circula em vias exclusivas com veículos articulados de piso baixo (RIO DE JANEIRO, 2020). O sistema metroviário possui duas linhas com 48 km total de extensão e trinta e cinco

Tabela 4- Taxas de Viagens das cidades brasileiras

Região	Taxa de Viagem	Fonte
Rio de Janeiro (Município)	1,99	Análise: Consórcio com dados PODD 2011
Rio de Janeiro (RMRJ)	1,9	Análise: Consórcio com dados PODD 2011
São Paulo (Cidade)	2,17	OD 2007 (Metrô) - RMSP
São Paulo (RMSP)	1,95	OD 2007 (Metrô) - RMSP
Florianópolis (Cidade)	1,85	PLAMUS 2015
Florianópolis (RMF)	1,83	PLAMUS 2015
Belo Horizonte	1,63	Plano Mobilide (2010) - RMBH
Campinas (Cidade)	1,64	PODD RMC 2003
Campinas (RMC)	1,58	PODD RMC 2003
Campinas (RMC)	1,7	PODD RMC 2011
Sorocaba	1,76	PODD Sorocaba 2013
São José dos Campos	2,58	PODD SJC 2011
Ribeirão Preto	1,89	PODD RP 2012

Fonte: RIO DE JANEIRO (2013)

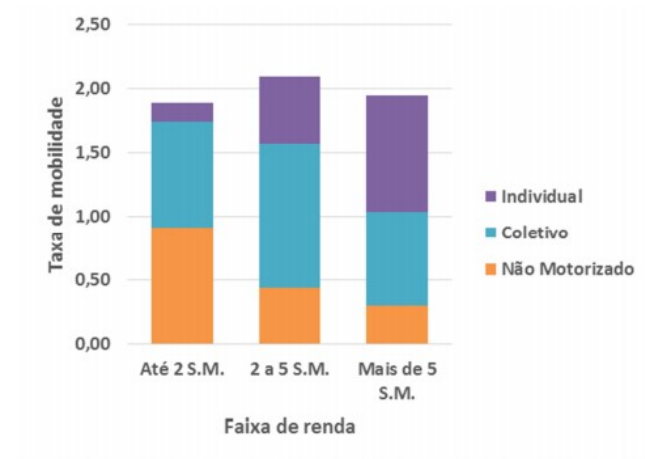
Observa-se, portanto, que a cidade do Rio de Janeiro apresenta uma alta taxa de mobilidade, abaixo somente de São Paulo e São José dos Campos. A respeito da desagregação do índice de mobilidade por tipo de modal, é importante salientar que o comportamento deste indicador é altamente sensível às faixas de renda da população. Segundo BARBIERI (2011), VIANNA e YOUNG (2015) e COSTA, SILVA e COHEN (2013), este fenômeno torna os indivíduos mais propensos a evitar os modais não motorizados e adotar os individuais à medida que seus rendimentos crescem, conforme se pode observar na tabela e gráfico abaixo:

Tabela 5- Taxa de viagens no Rio de Janeiro segundo modal e faixa de renda

	Não Motorizado	Coletivo	Individual	TOTAL
Até 2 S.M	0,91	0,83	0,15	1,89
2 a 5 S.M	0,43	1,14	0,52	2,09
Mais de 5 S.M	0,3	0,74	0,91	1,95

Fonte: RIO DE JANEIRO (2015)

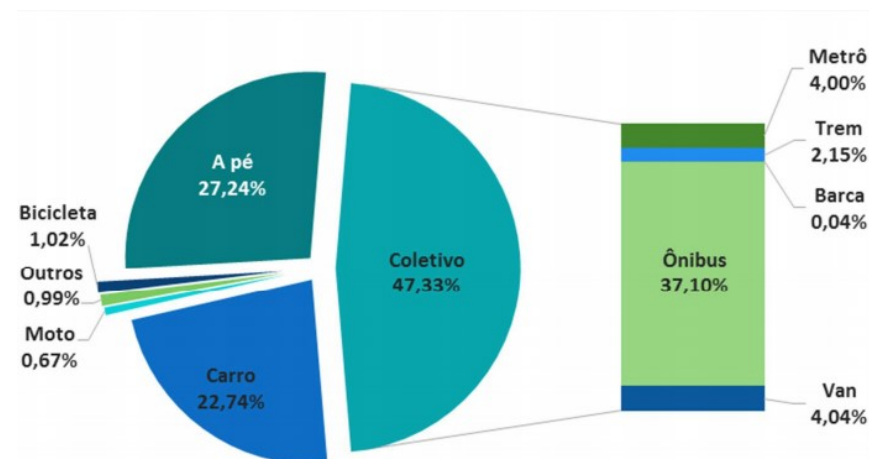
Gráfico 11- Taxa de viagens no Rio de Janeiro segundo modal



Fonte: RIO DE JANEIRO (2015)

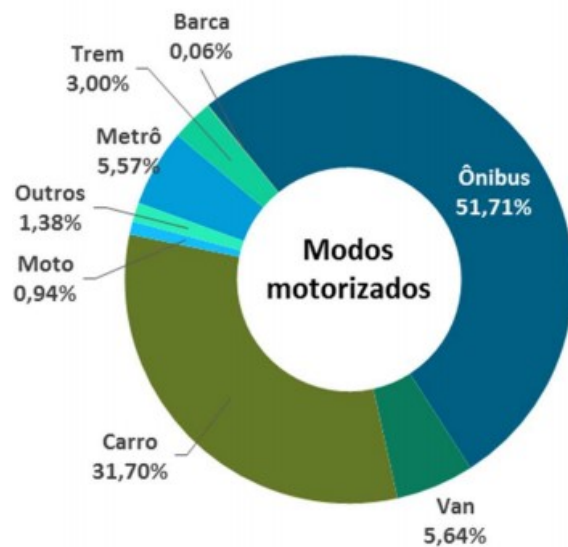
Agregando-se todas as faixas de renda, é possível obter o padrão municipal de demanda por tipo de modal, que corresponde a 47,33% em viagens operadas por modais coletivos, sendo o ônibus responsável por 37,1% das viagens, integrando portanto o modal mais demandado pelos cariocas, conforme sintetizam o gráfico e tabela abaixo.

Gráfico 12- Padrão municipal de demanda por tipo de modal



Fonte: RIO DE JANEIRO (2015)

Gráfico 13- Padrão municipal de demanda por tipo de modal motorizado



Fonte: RIO DE JANEIRO (2015)

Tabela 6- Viagens realizadas no Rio de Janeiro segundo tipo de modal

Modo	Viagens
A pé	3.431.664
Bicicleta	128.230
Metrô	503.214
Trem	270.835
Barca	5.508
Ônibus	4.672.765
Van	509.413
Carro	2.864.320
Moto	84.982
Outros	124.923
TOTAL	12.595.855

Fonte: RIO DE JANEIRO (2015)

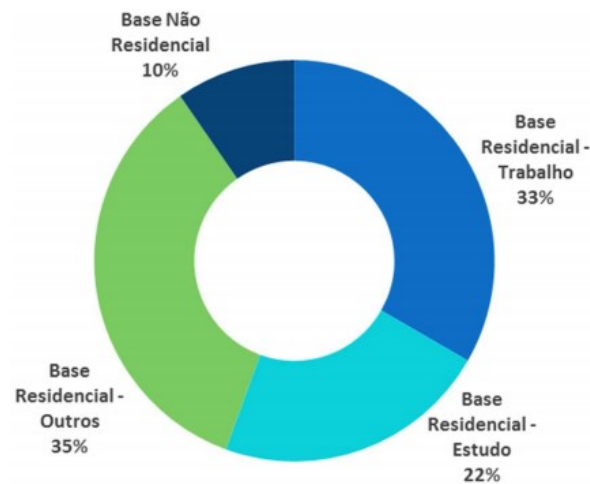
Constata-se, portanto, a dinâmica descrita em VIANNA e YOUNG (2015) a respeito da importância dos ônibus urbanos para os habitantes da cidade do Rio de Janeiro. Este serviço constitui elemento fundamental não só para o desenvolvimento de atividades pessoais dos munícipes quanto para o desempenho da própria economia, na medida em que se utilizam do sistema de transporte por ônibus para se deslocarem aos seus locais de trabalho, conforme demonstra gráfico e tabela abaixo:

Tabela 7- Motivo das viagens realizadas no Rio de Janeiro

Base residencial			Base não residencial
Outros	Estudo	Trabalho	
4.384.690	2.802.815	4.199.935	1.217.084

Fonte: RIO DE JANEIRO (2015)

Gráfico 14- Participação das viagens realizadas no Rio de Janeiro segundo seu motivo



Fonte: RIO DE JANEIRO (2015)

Por esta razão, faz-se necessário investigar os impactos trazidos pela atividade dos ônibus urbanos no município com o intuito de avaliar o que este movimento significa em termos de mobilidade urbana local e seus impactos ao meio ambiente, conforme sugerido por BARBIERI (2013), com fins de harmonizar e adequar ambos os setores.

4.1 Mudanças Climáticas Projetadas

Ao constituir a maior cidade costeira e o segundo centro econômico do país (IBGE, 2018), o município do Rio de Janeiro se encontra revestido tanto de importância financeira quanto de vulnerabilidade ambiental. Apresentando elevada variabilidade topográfica e meteorológica (SMAC, 2016), o município é afetado pelos maciços florestais que influenciam elementos como temperatura, ventos, evaporação, nebulosidade e precipitação. Este fenômeno é intensificado pela altitude da ordem de 1.000 m de algumas destas elevações, o que restringe a penetração da umidade marinha em direção ao interior da cidade, atuando como barreiras para as chuvas e

restringindo a disponibilidade de umidade em partes da zona norte e oeste da cidade – tradicionalmente mais secas e quentes (CONFALONIERI, MARINHO e BARATA, 2011).

Soma-se ao cenário da topografia própria da região o crescente fenômeno do aquecimento global, que de acordo com SMAC (2016) têm contribuído para o aquecimento da temperatura urbana. Segundo o histórico de observações sobre a climatologia da cidade, os dias quentes estão cada vez mais freqüentes, os dias frios mais raros e as ondas de calor mais comuns, com um aumento da temperatura máxima anual de 0,05°C ao ano. Quanto às precipitações, está registrado o aumento contínuo da freqüência e volume de chuvas fortes, notadamente nas áreas mais altas da cidade – fator este que pode estar ligado a alterações nos padrões dos ventos, circulação da brisa marinha e fluxo de umidade do oceano para o continente, todos associados ao aquecimento global.

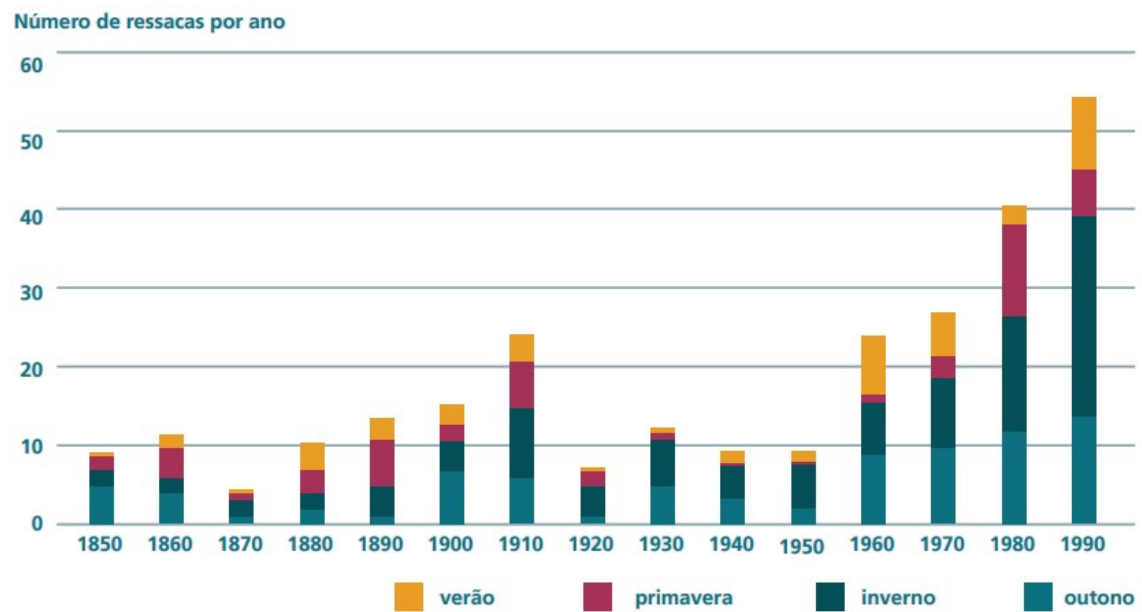
Tabela 8- Variação das temperaturas médias anuais na região mais fria e mais quente do Rio de Janeiro

Indicadores	Bairros	
	Alto da Boa Vista	Santa Cruz
Temperatura máxima anual média	+ 0,04 °C/ano	+ 0,03 °C/ano
Dias frios	- 0,20 %/ano	- 0,11%/ano
Dias quentes	+ 0,15 %/ano	+ 0,15%/ano
Dias quentes consecutivos	+ 0,17 dia/ano	+ 0,02 dia/ano
Menor temperatura máxima anual	+ 0,01 °C/ano	Sem tendência
Maior temperatura máxima anual	+ 0,01 °C/ano	+ 0,01 °C/ano
Número de dias no ano T > 25° C	+1,41 dia/ano	+ 0,44 dia/ano
Amplitude anual média da temperatura máxima diurna	+ 0,05 °C/ano	+ 0,01 °C/ano

Fonte: SMAC (2016)

Segundo a literatura consultada, a elevação da temperatura média intra-urbana associada ao aquecimento global também outros efeitos sobre o tecido urbano, como o agravamento de seus efeitos sobre o território periférico da cidade (e portanto na população mais pobre), conforme descrito por ASCERALD (2015) e HOGAN (2005). Além deste fator, a cidade possui grande parte de seu território exposto ao mar, tendo SMAC (2016) apontado que o número de ressacas vem aumentando ao longo dos anos no Rio de Janeiro, tendo seus efeitos relatados pela imprensa desde o século XIX.

Gráfico 15- Quantidade anual de ressacas na Cidade do Rio de Janeiro



Fonte: SMAC (2016)

As bases de dados da prefeitura da cidade indicam que no período registrado a ação das ondas entre 3,0 a 4,0 m produziram elevação adicional do nível médio do mar na ordem de 0,6 a 0,8 m devido ao aumento de sua frequência. Neste sentido, identificou-se que a projeção de 0,3 m adicionais sobre o nível eustático do mar já foi parcialmente alcançada ao se considerar os níveis médios do mar de 1965 – então utilizado para se estabelecer os níveis de urbanização e saneamento necessários para a malha urbana (SMAC, 2016). De acordo com os dados, este histórico progressivo significa que, se a partir de 2016 fossem considerados os percentuais conservadores de 0,1; 0,2 e 0,3 de elevação e nestes cenários forem considerados uma sobre-elevação de 0,9 devido à maré meteorológica (níveis já observados), a cidade já se encontraria em condição de altíssima vulnerabilidade às variações no nível do mar, que podem acarretar, entre outros, os seguintes efeitos:

- Alteração sobre a morfologia das praias
- Elevação do nível do mar na zona de arrebentação em 20% da altura das ondas
- Deposição de areia nos canais de drenagem
- Intrusão salina nas lagoas
- Galgamento em avenidas litorâneas com deposição de areia nas vias e danos às edificações

- Ações de ondas e spray de água sobre estruturas de concreto
- Ações sobre barcos ancorados na costa
- Interferência na navegação das embarcações de transporte público
- Transporte de detritos, óleo e outros poluentes na interface ar-mar
- Inundação das áreas ao entorno das lagoas
- Afogamento das saídas de drenagem pluvial
- Elevação do lençol freático, causando inundação de andares subterrâneos e galerias de distribuição (eletricidade, gás, tubulações de abastecimento hídrico, tanques de armazenamento de combustível, etc.)

Além dos efeitos sobre a interface marinha, a vulnerabilidade ambiental à qual a cidade do Rio de Janeiro se encontra exposta compreende os riscos de escorregamentos de massa sobre as encostas. Apresentando um histórico sólido de desastres associados a ação das chuvas, SMAC (2016) aponta que os eventos entre 1966 e 1967 provocaram sozinhos 200 óbitos sobre o município, tendo o incidente de 1988 causado 19 dias ininterruptos de chuva, 80 mortes e 1.700 notificações de ocorrência e o incidente de 2010 provocado individualmente 60 óbitos.

Conforme mencionado anteriormente, estes fenômenos são em parte resultado da topografia do município, que apresenta encostas em maciços florestais altamente suscetíveis a deslizamentos – processo este agravado pela retirada da cobertura vegetal e ocupação humana desordenada sobre estes territórios. Segundo SMAC (2016), tais fatores provocam alterações sobre o ciclo hidrológico e estrutura dos taludes locais, levando a ocorrência de deslizamentos sobre as áreas urbanizadas.

Figura 4- Mapa de suscetibilidade a escorregamentos de massa na cidade do Rio de Janeiro

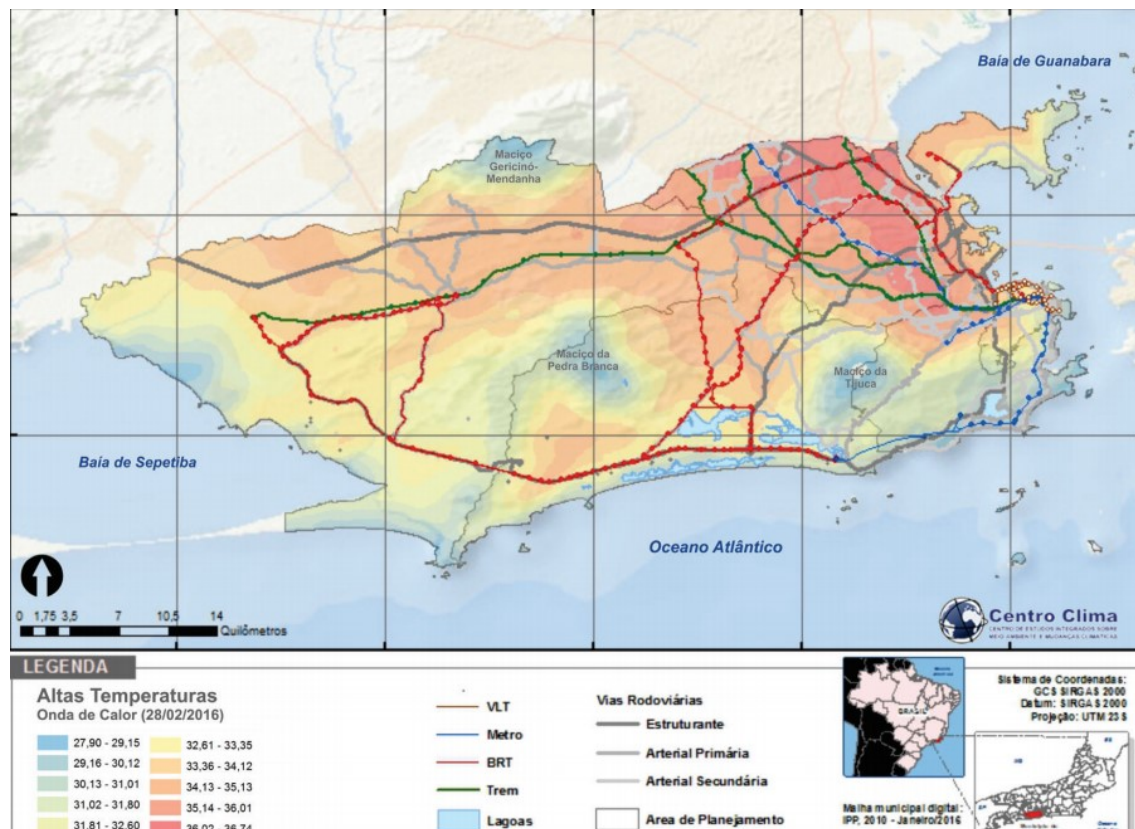


Fonte: RIO DE JANEIRO (2016) com base em dados de Martins (2014)

Conforme mencionado na seção 3.1, a incidência das ondas de calor na cidade tem se tornado um fenômeno cada vez mais freqüente. Dados da Secretaria Municipal de Meio Ambiente (2016) indicam que as menores temperaturas são registradas nas áreas de maior cobertura vegetal, o que levou o estudo a concluir que os critérios para o uso e ocupação do solo são fundamentais para uma política local de mitigação climática. Em termos de vulnerabilidade ambiental, as zonas norte e oeste da cidade atualmente se encontram mais expostas a este fenômeno (registrando consecutivamente as maiores temperaturas médias, conforme mapa abaixo). Este cenário corrobora os resultados de CARTIER *et al.* (2009), segundo o qual as populações que apresentam menores rendas e índice educacional tendem a residir no entorno das áreas mais afetadas pelos impactos ambientais, ao passo que COSTA, SILVA e COHEN (2013) indicam que esta mesma população é a que possui menor resiliência a esta exposição. A respeito da participação estatal na dinâmica descrita, ASCERALD (2015) ressalta que este cenário tende a ser agravado pelo volume insuficiente de obras de infraestrutura pública que possam amenizar estes efeitos, perpetuando assim um ciclo no qual a população mais afetada se torna cada vez mais dependente de políticas públicas que mitiguem os impactos ambientais cujos efeitos

negativos não são capazes de absorver.

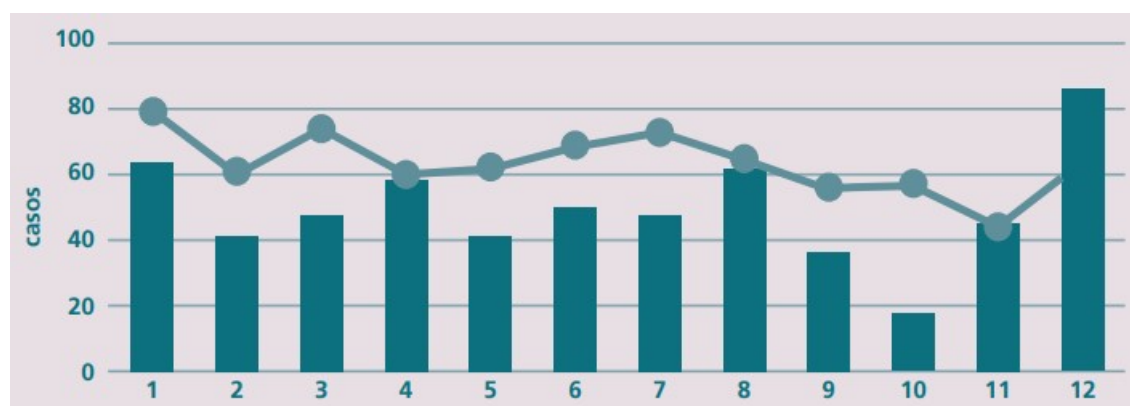
Figura 5- Mapa de registros da cidade do Rio de Janeiro em função de sua rede de transportes



Fonte: RIO DE JANEIRO (2016)

Quanto à frequência dos fenômenos em discussão, a Cidade do Rio de Janeiro registrou em 2016 os casos de Anomalias Positivas de Temperatura Máxima (APT_M) mensal no período 2003-2015. Tal estudo considerou como ocorrência de um evento APT_M casos nos quais a temperatura máxima superou em mais de 5 °C a respectiva média climatológica (temperatura prevista) no intervalo 1961-1990 por um período maior ou igual a cinco dias, conforme demonstra gráfico abaixo:

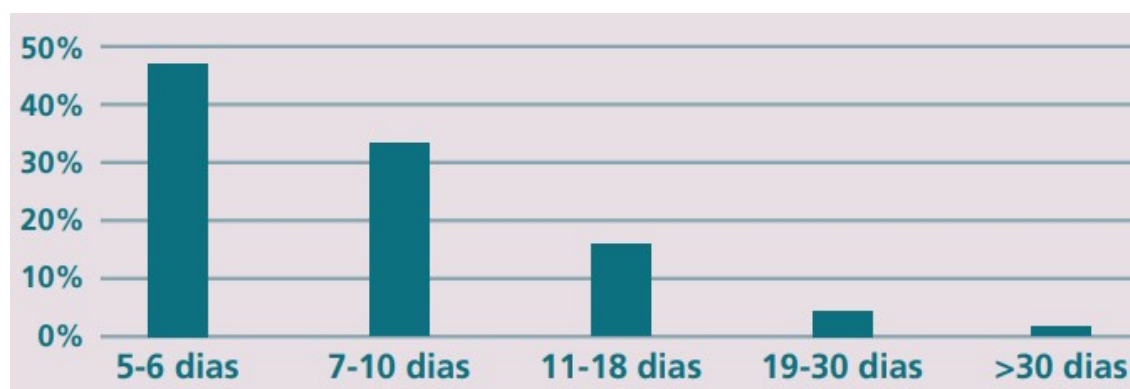
Gráfico 16- Quantidade de Anomalias Positivas de Temperatura Máxima na Cidade do Rio de Janeiro



Fonte: SMAC (2016)

Conforme se pode observar, o maior número de ocorrências se encontra no verão, no mês de janeiro (média de 79 casos), enquanto o menor se situa no outono, em novembro (média de 44 casos). A persistência média das ondas de calor segue descrita no gráfico abaixo:

Gráfico 17- Duração média de Anomalias Positivas de Temperatura Máxima na Cidade do Rio de Janeiro

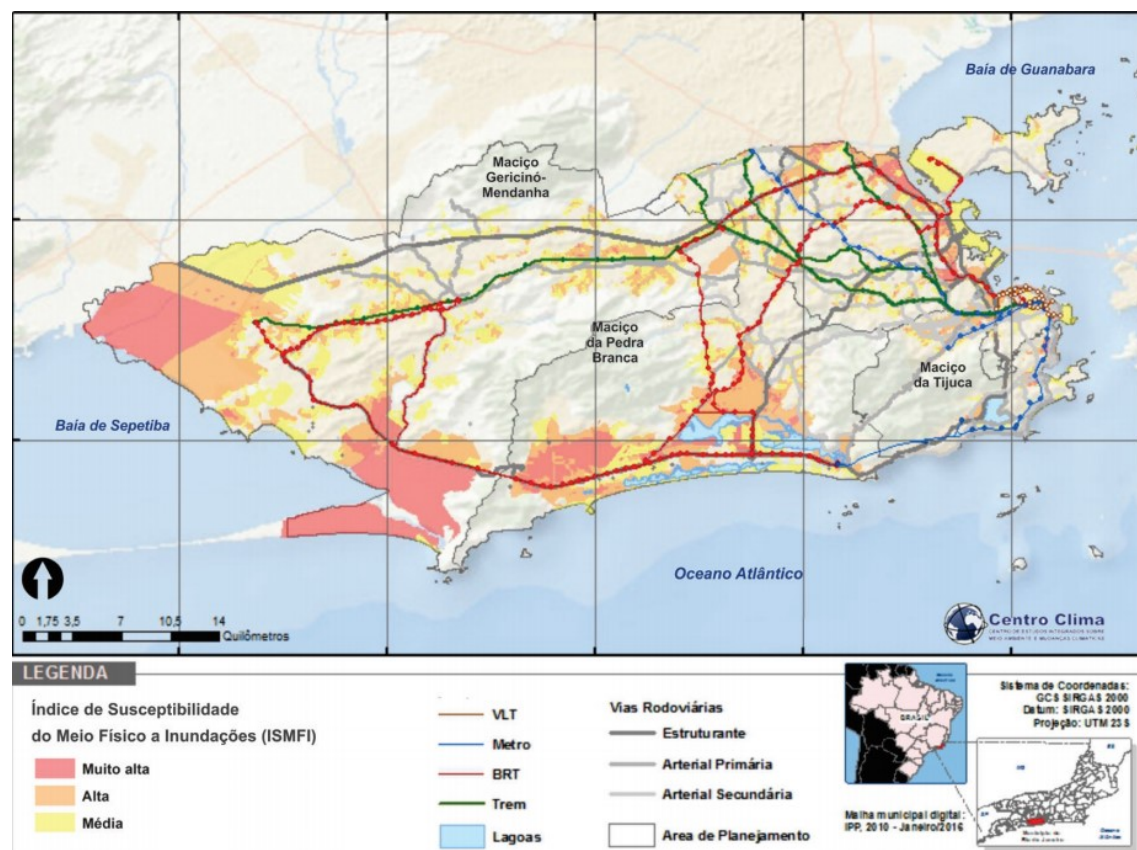


Fonte: SMAC (2016)

De acordo com a série histórica, a tendência é de que a maior parte dos eventos de calor extremo perdurem entre 5 a 6 dias, diminuindo sua frequência conforme aumentam sua duração. No entanto, é importante ressaltar que no agregado temporal 38% dos dias apresentaram temperatura média excessiva continuada, o que significa dizer que do total de 4.748 dias observados, 1.804 foram considerados APTM, o que indica um alto número absoluto de dias nos quais a população foi exposta a uma temperatura excessiva para a saúde humana.

Além dos efeitos potenciais da elevação do nível do mar, dos deslizamentos das encostas e do aumento das ondas de calor, EGLER e GUSMÃO (2011) apontam para a importância do risco de inundações sobre a cidade. Naturalmente suscetível a este tipo de fenômeno devido ao seu modelo de ocupação urbana e características naturais como presença de brejos e manguezais (que restringem a descarga de rios no mar) a cidade do Rio de Janeiro é potencialmente vulnerável a este tipo de risco, conforme se pode observar no mapa abaixo:

Gráfico 18- Mapa do Suscetibilidade do Meio Físico a Inundações na cidade do Rio de Janeiro



Fonte: RIO DE JANEIRO (2016)

Convém observar que as áreas de potencial risco de inundação coincidem com as áreas mais afetadas pela elevação da temperatura no município, o que reforça a correlação entre estes dois fenômenos. Para a construção deste mapa o município aplicou uma análise qualitativa sobre os dados de precipitação local, considerando os processos de transformação da chuva em grandes fluxos e seus escoamentos. O objetivo da análise foi a identificação de localidades nas quais estes fluxos se acumulariam a ponto de configurar uma inundação dada a incapacidade de

escoamento imediato, o que resultou em níveis críticos de vulnerabilidade para as zonas norte e oeste – que concomitantemente são as áreas de maior incidência de calor extremo.

4.1.1 Vulnerabilidade Urbana

Com o fim de identificar a vulnerabilidade urbana da cidade do Rio de Janeiro frente às mudanças climáticas, cumpre apresentar um breve histórico da evolução urbana do município, por se entender que este processo constituiu as bases para a atual situação de vulnerabilidade apresentada pelo município.

Capital nacional no período entre 1763 e 1960, a cidade do Rio de Janeiro foi a mais populosa do país, perdendo esta condição para São Paulo apenas em 1950. Esta herança acentuou na cidade características urbanísticas e sociais que aprofundaram o cenário de desigualdade próprio das cidades brasileiras, nas palavras de ABREU (1987):

“o modelo do Rio tende a ser o de uma metrópole de núcleo hipertrofiado, concentrador da maioria da renda e dos recursos urbanísticos disponíveis, cercado por estratos urbanos periféricos cada vez mais carentes de serviços e de infra-estrutura à medida em que se afastam do núcleo, e servindo de moradia e de local de exercício de algumas outras atividades às grandes massas de população de baixa renda.” (ABREU, 1987, p. 12)

A exemplo das demais capitais brasileiras, apenas a partir do século XIX o Rio de Janeiro passa a promover um processo acelerado de urbanização e estratificação social. Até este período o perímetro urbano estava limitado pelos morros do Castelo, São Bento, Santo Antônio e Conceição. Segundo ABREU (1987) o ano de 1870 é um marco neste processo ao instalar a estrada de ferro D. Pedro II, passando a operar concomitantemente com os bondes (instalados dois anos antes) e promovendo portanto uma capilarização da ocupação humana no território do município. É importante notar que já neste período ocorria uma segregação socioespacial dos modais de transportes, sendo os bondes utilizados para transportar a elite urbana do centro da cidade para a zona sul e as linhas de trem para transportar a população mais pobre do centro para o subúrbio.

Buscando combater a proliferação de cortiços e habitações irregulares, o poder público promove entre 1902 e 1930 uma série de medidas conhecidas como a

Reforma Pereira Passos. Estas medidas alteraram drasticamente o tecido urbano, promovendo em primeiro lugar o alargamento de ruas situadas principalmente no centro da cidade. Tais ações produziram o efeito colateral de expropriar a população cujas residências se fixaram nesta localidade e as expulsar para a periferia da cidade, contribuindo também para o processo de favelização dos morros ao seu entorno e de segregação socioespacial já em curso no período.

Simultaneamente, as indústrias nascentes se instalavam no subúrbio da cidade na medida em que este território se mostrou progressivamente uma solução viável para os problemas de habitação para a população de baixa renda que havia sido expulsa do centro ou da zona sul do município, conforme demonstra AZEVEDO (2015, p. 165):

Assim, através das articulações viárias descritas, fica manifesta a intenção do prefeito em articular o centro urbano do Rio de Janeiro com os bairros do subúrbio da cidade”. Tal processo não contou com políticas públicas específicas e contribui até a atualidade para o agravamento de problemas que parte da população trabalhadora encontra para se deslocar dos subúrbios aos seus locais de trabalho. AZEVEDO (2015)

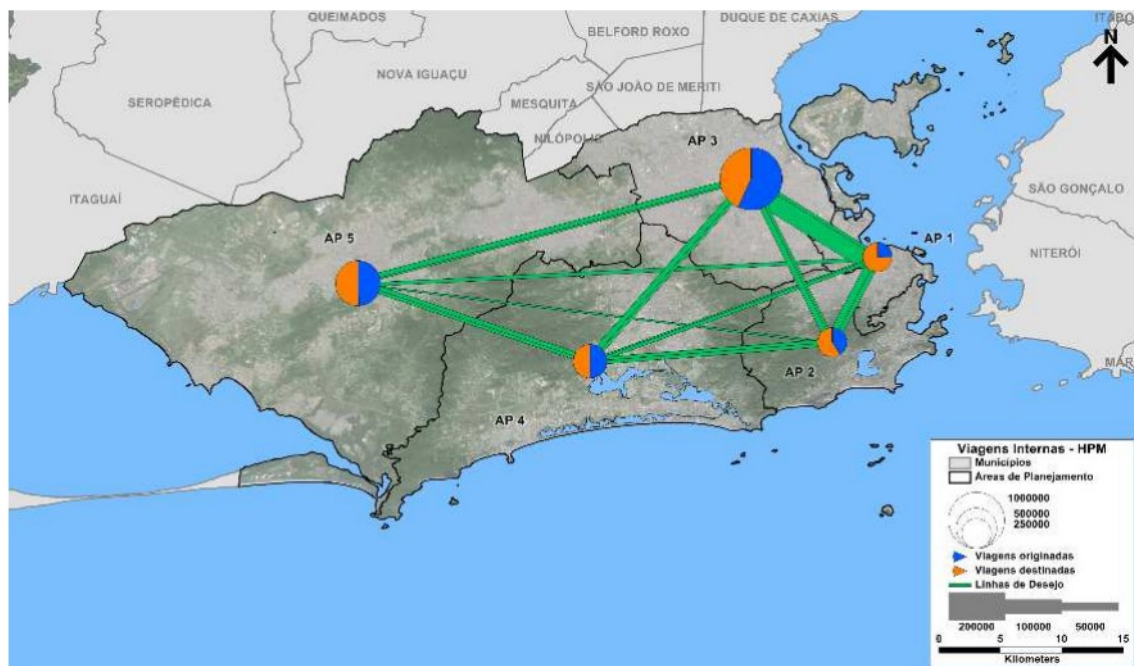
Segundo RIZZINI (2018) e ABREU (1987) o processo de deslocamento da massa trabalhadora não foi acompanhado de melhorias no transporte público, o que contribuiu também para o crescimento de favelas localizadas na zona sul da cidade – local que oferecia a maior parte dos postos de trabalho. De acordo com os autores 79% dos moradores de favela da zona sul moravam próximos aos seus locais de trabalho, enquanto na zona norte este percentual se fixava em 58%.

A década de 60 trouxe consigo um processo de aprofundamento da concentração de renda brasileira e suas conseqüências sobre a malha urbana do Rio de Janeiro (FARAH, 2003), como a remoção de favelas na zona sul e construção de habitações de luxo em seu lugar (FERNANDES; LAGUENS e NETTO, 1990), bem como a expansão do projeto urbanístico em direção a São Conrado e a Barra da Tijuca (NUNES-FERREIRA, 2014). Estas ações acarretaram a necessidade de investimentos em mobilidade pública para atender a população de baixa renda que agora fixava residência na zona oeste, ao entorno da Barra da Tijuca e Recreio dos Bandeirantes.

Deste modo, é possível perceber que em pouco tempo e com investimentos modestos em transporte público, a cidade do Rio de Janeiro passou de 1.157.873

habitantes em 1920 (período da reforma Pereira Passos) para 6.688.927 habitantes em 2018 (IBGE, 2018). Segundo ABREU (1987), COSTA, SILVA e COHEN (2013) e EGLER e GUSMÃO (2011), esta progressão da malha urbana foi acompanhada por grandes impactos ambientais e assimetrias socioespaciais na ocupação do solo urbano, com alta demanda de serviços de transporte público pela camada mais pobre da população nas zonas norte e oeste, conforme demonstra o mapa exposto na figura 6:

Figura 6- Mapa da produção, atração e linhas de desejo das viagens municipais na cidade do Rio de Janeiro



Fonte: PMUS (2015)

Com fins de prever os impactos ambientais futuros sobre o município ocasionados pelos fatores identificados acima, a Secretaria Municipal de Meio Ambiente divulgou em 2015 um estudo indicando quais os principais riscos ambientais segregados pelas cinco áreas de planejamento da cidade. Estas áreas de planejamento foram definidas pela lei municipal nº 111 de 1º de fevereiro de 2011 (Plano Diretor do Município) e se encontram identificadas no mapa abaixo:

Figura 7- Mapa das Áreas de Planejamento da Cidade do Rio de Janeiro



Fonte: Instituto Pereira Passos, 2012

De acordo com o estudo realizado por SMAC (2016), cada área de planejamento (AP) está exposta a diferentes riscos ambientais que se impõem de maneira espalhada pelo município. Com o objetivo de lidar com esta exposição, o corpo técnico da instituição recomendou o desenvolvimento, implantação e acompanhamento de políticas públicas por seus formuladores e sociedade civil para tais impactos, que seguem brevemente descritos.

A Área de Planejamento 1 da cidade caracteriza-se por constituir a região central de distribuição de passageiros para as demais áreas. Abrigando diversas instituições de importância histórica, cultural e econômica (abrange parte significativa do mercado de trabalho e financeiro da cidade), o adensamento populacional pretendido para a região portuária e São Cristóvão pode acarretar impactos negativos como a elevação do nível do mar, conforme apontado por EGLER e GUSMÃO (2011). Constitui também eixo estratégico para todo o transporte da região metropolitana, tendo em vista que concentra os modais rodoviários (ônibus e veículos particulares), metroviários, ferroviários, fluviais e a recém instalada estrutura de Veículos Leves sobre Trilhos (VLT's) em seu território. Com o aumento previsto do índice de pluviosidade, o sistema de transportes já tem sofrido impactos negativos, como o fechamento de estações de metrô, congestionamentos de carros e ônibus e interrupção do funcionamento regular das linhas de VLT's.

A Área de Planejamento 2 compreende a população de maior renda média do

município e ao mesmo tempo mais exposta aos deslizamento de terra e inundações. Apresentando o maior número de residências expostas a tais riscos, também é a área mais adensada da cidade – sendo a região da Rocinha a mais exposta aos riscos ambientais. Em relação ao sistema transportes, as áreas mais vulneráveis são Vila Isabel, Botafogo, Lagoa e Jardim Botânico - sendo estas duas últimas particularmente vulneráveis por não serem atendidas por modais de alta capacidade, que apresentam menor sensibilidade aos eventos climáticos registrados na região. Adicionalmente, a frequência e qualidade do transporte local podem ser afetados pela dificuldade de acesso e operação das estações de metrô e ciclovias, parcialmente expostas ao aumento do nível do mar e deposição de areia.

A Área de Planejamento 3 é uma das mais vulneráveis aos eventos climáticos projetados, uma vez que possui alta taxa de ocupação humana, alto índice de construções irregulares e baixo percentual de áreas verdes preservadas em seu território. Constituindo o menor índice de renda e escolaridade das Áreas de Planejamento, esta região é a que possui o maior número de favelas e assentamentos irregulares. Dentre estas, as áreas do Jacarezinho e Complexo da Maré apresentam alta vulnerabilidade a inundações e altas temperaturas, enquanto a área do Complexo do Alemão apresenta alta vulnerabilidade a deslizamentos de terra. Em relação ao setor de transporte, esta Área de Planejamento é especialmente sensível aos alagamentos impeditivos de operações dos modais rodoviários no Complexo da Maré, Jacarezinho, Ramos e Pavuna, bem como na Avenida Brasil nas regiões de Irajá, Vigário Geral, Penha e Ramos – o que pode significar vulnerabilidade nos acessos à Baixada Fluminense, Área de Planejamento 5 e demais regiões da Área de Planejamento 6. Por constituir a AP da cidade mais afetada pelo aquecimento intra-urbano, a qualidade no deslocamento de modais rodoviários pode ser afetada pelas ondas de calor, especialmente em um cenário em que a climatização dos ônibus urbanos não foi efetuada.

Apresentando alto índice populacional, a AP 4 é caracterizada pela exposição ao mar e aos riscos que este fator traz em termos de elevação do nível do oceano, bem com o a AP 2. Sensível à ocupação humana, esta região também é caracterizada por alto índice de ocupações irregulares e sensíveis a deslizamentos de terra, especialmente na região de Jacarepaguá (mais populosa da cidade) e Cidade de Deus (localizada em uma encosta com altos índices de deslizamento). Contribui para o adensamento urbano nesta região o elevado número de empreendimentos

habitacionais sociais no âmbito do programa "Minha Casa, Minha Vida". Adicionalmente, observa-se o aquecimento da especulação imobiliária local motivada pela construção de condomínios residenciais fechados destinados às faixas de renda mais elevadas da população, cujo lançamento de esgoto clandestino sobre a Baía da Guanabara por meio do emissário submarino da Barra da Tijuca constitui uma preocupação atual do poder público em termos de preservação ambiental (OLIVEIRA, 2010; SILVA, 2006, 2007). A continuidade destes movimentos ameaçam a fragilidade do equilíbrio ambiental local, especialmente na região do maciço da Pedra Branca e o Complexo Lagunar de Jacarepaguá, bem como a depleção das florestas locais e a vegetação natural das encostas - o que amplia o risco de deslizamentos. Em relação ao setor de transportes, os adensamentos populacionais se localizam a uma distância média alta das estações de transporte de média e alta capacidade, o que leva a um alto tempo médio de viagens. O predomínio do modal rodoviário e baixa oferta de transporte público em vias estruturantes, arteriais e coletoras expõe a população aos riscos ambientais em discussão (SMAC, 2016). A exemplo da Área de Planejamento 3, a elevação do nível do mar aumenta os riscos de invasão da água sobre as vias litorâneas e deposição de areia sobre faixas rodoviárias e ciclofaixas.

Finalmente, a Área de Planejamento 5 apresenta território contíguo ao da AP 4, apresentando os mesmos riscos associados à depleção das áreas do Maciço da Pedra Branca e Gericinó-Mendanha. Ao compor um sistema de transporte caracterizado por grandes distâncias entre os corredores viários e as residências (cuja população apresenta menor renda média no município), têm-se que esta encontra-se particularmente vulnerável aos riscos trazidos pelas inundações e calor excessivo. Deste modo, a região exige longos deslocamento entre o sistema de ônibus e trem/BTR, que possuem maior capacidade de distribuição da população e que também possuem seus acessos expostos aos riscos de inundações. A exemplo da AP 3, esta região também está particularmente exposta aos riscos do calor excessivo, o que pode comprometer a operacionalização dos sistemas de transporte que atendem a população, especialmente o ferroviário e rodoviário, uma vez que os ônibus ainda não finalizaram seu processo de climatização.

4.2 Planejamento Urbano e Transporte Público

Além de implicar na dinâmica cotidiana de locomoção da população, o setor de transporte público também está vinculado ao planejamento urbano local. Segundo o Plano Diretor de Transporte Urbano da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (PDTU/ RJ), “a atual morfologia urbana da Região Metropolitana do Rio de Janeiro deriva de um processo histórico de ocupação fortemente moldado pelos eixos de transporte e condicionantes físicos” (RIO DE JANEIRO, 2011).

Nestes termos, é possível observar que a geografia da cidade e sua topografia induziram a um modelo de expansão axial, tendo em vista que os projetos de urbanização estavam constrangidos de um lado pela costa, banhada pelo Oceano Atlântico e de outro por uma cadeia montanhosa, notadamente o Maciço da Tijuca. Por esta razão, o Plano Diretor da Cidade do Rio de Janeiro (PDDU), instituído pela Lei Municipal nº 111 de 1º de fevereiro de 2011 estabelece em seus Art. 8º e 11º que a cidade deve se expandir segundo vetores de crescimento que proporcionem a expansão homogênea das diversas regiões urbanas, promovendo a valorização ambiental e social de suas áreas de influência, conforme disposto a seguir:

Art. 8º O território municipal será ordenado em conformidade com os vetores de crescimento da Cidade, o Macrozoneamento e as diretrizes de uso e ocupação do solo que indicarão os padrões de ocupação urbana a serem adotados no processo de adensamento e de expansão da Cidade, as prioridades de investimentos e os instrumentos que serão aplicados no controle do desenvolvimento urbano.

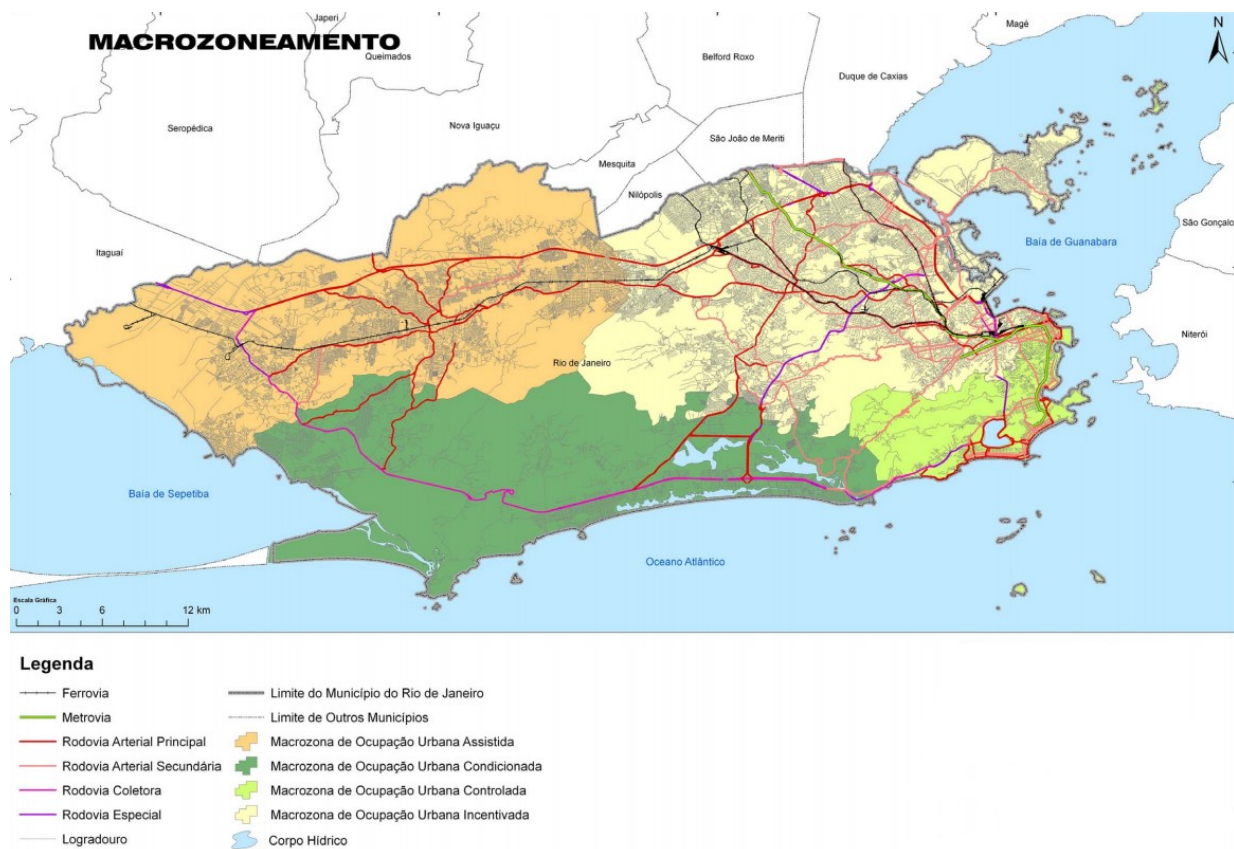
Parágrafo Único. A ordenação do território observará também as condições ambientais, tendo como referência as bacias e sub-bacias hidrográficas definidas pelos maciços montanhosos e baixadas.

Art. 11. A estruturação urbana será promovida mediante a instituição de Pólos de Atração de Investimentos e Desenvolvimento Sustentável - PADES, localizados ao longo do anel viário de integração municipal, cujo objetivo é fomentar a atração de Investimentos e a valorização ambiental e social das respectivas áreas de influência, com vistas a um desenvolvimento mais homogêneo das diversas regiões da cidade, à redução dos deslocamentos e a valorização das identidades dos bairros e regiões.

(PDDU, 2011)

Esta visão da expansão urbana se coaduna com a perspectiva de MARTINS e FERREIRA (2010), que sustentam que o Poder Público é responsável pela condução da política de expansão urbana através da alocação de recursos públicos para a expansão de áreas prioritárias e contenção de áreas excessivamente adensadas e ambientalmente sensíveis – investimentos estes que frequentemente são destinados ao setor de transporte público. Para tanto, os gestores públicos e tomadores de decisão devem se basear nos limites geográficos definidos pelo PDDU, representados no mapa abaixo:

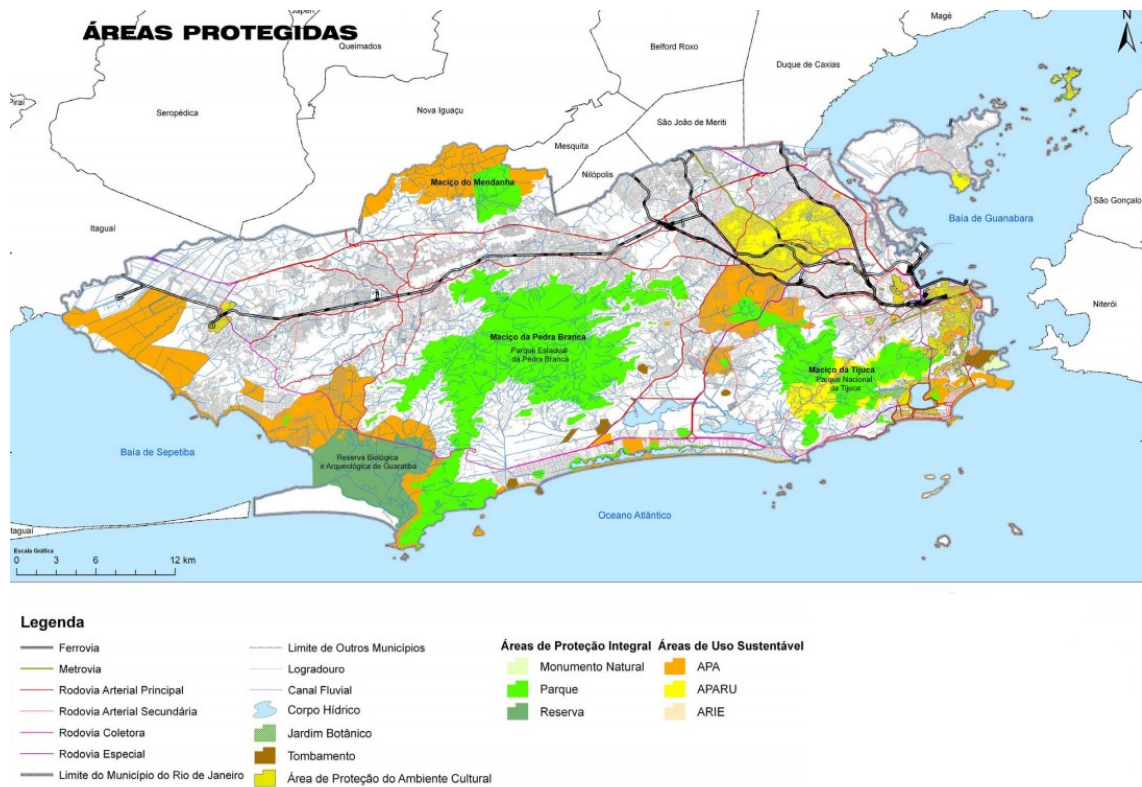
Figura 8- Mapa do macrozoneamento da Cidade do Rio de Janeiro segundo seus eixos de expansão urbana e sistema de transportes



Fonte: PDDU (2011)

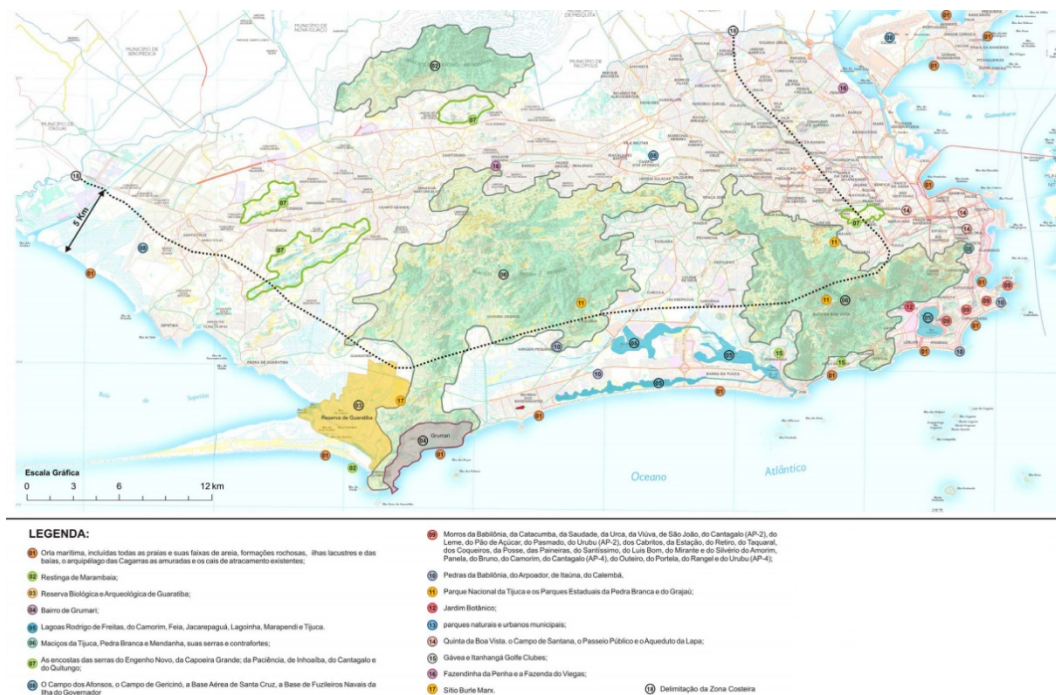
Conforme se pode observar, o sistema de transporte da cidade está concentrado nas áreas centro, norte e noroeste da cidade, correspondente respectivamente às APs 1 e 3. Conforme indicado, este recorte geográfico levou em consideração o aspecto ambiental, buscando preservar as áreas mais sensíveis do município dos impactos trazidos pela expansão urbana, conforme se pode observar no mapa abaixo:

Figura 9- Mapa das Áreas de proteção ambiental em virtude dos eixos de expansão do sistema de transportes no município do Rio de Janeiro



Fonte: PDDU (2011)

Figura 10- Áreas de relevante interesse paisagístico e ambiental

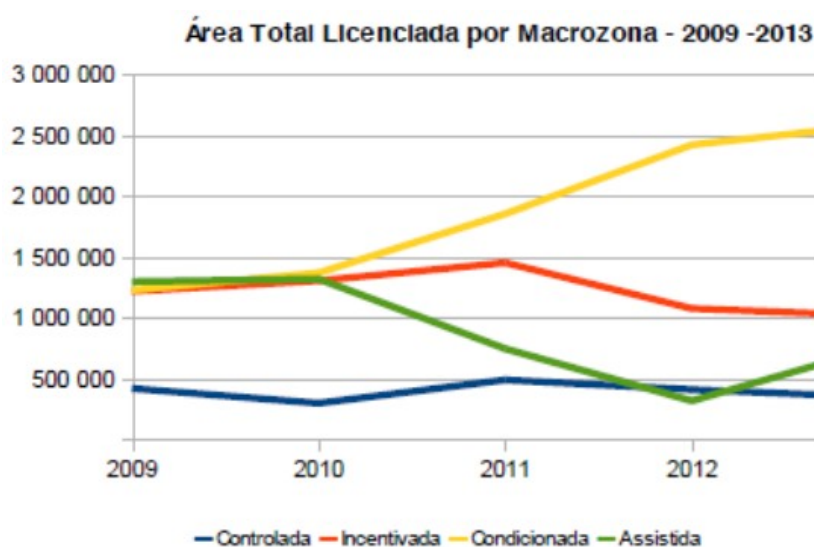


Fonte: PDDU (2011)

Ao analisar os mapas acima, é possível perceber a preocupação do legislador com a preservação ambiental com as APs 1, 2 e 4, bem como o estímulo a urbanização da AP 3 e do norte da AP 5.

No entanto, ao analisar a dinâmica de urbanização do município, constata-se que a cidade se expandiu e adensou para as áreas cuja urbanização deveria ser contida, ao passo em que as áreas onde a urbanização deveria ser incentivada foram as que apresentaram o menor crescimento, fenômeno este descrito por HARVEY (2012) e LEFEBVRE (2001) como inerente à lógica urbanística orientada pelo mercado cujo controle estatal se encontra ausente ou insuficiente, conforme se observa no gráfico abaixo:

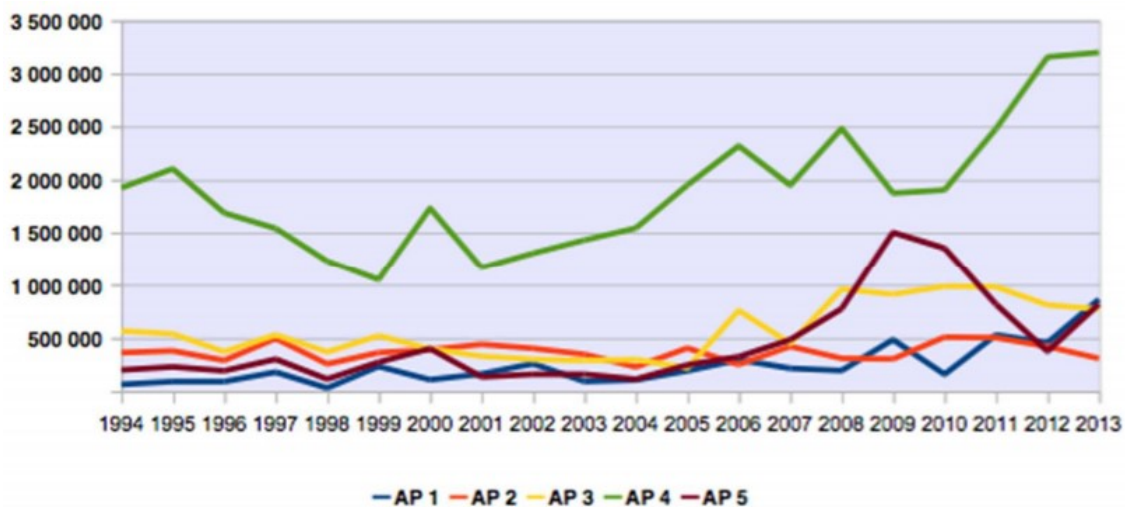
Gráfico 19- Área total licenciada na cidade do Rio de Janeiro



Fonte: SMAC (2016)

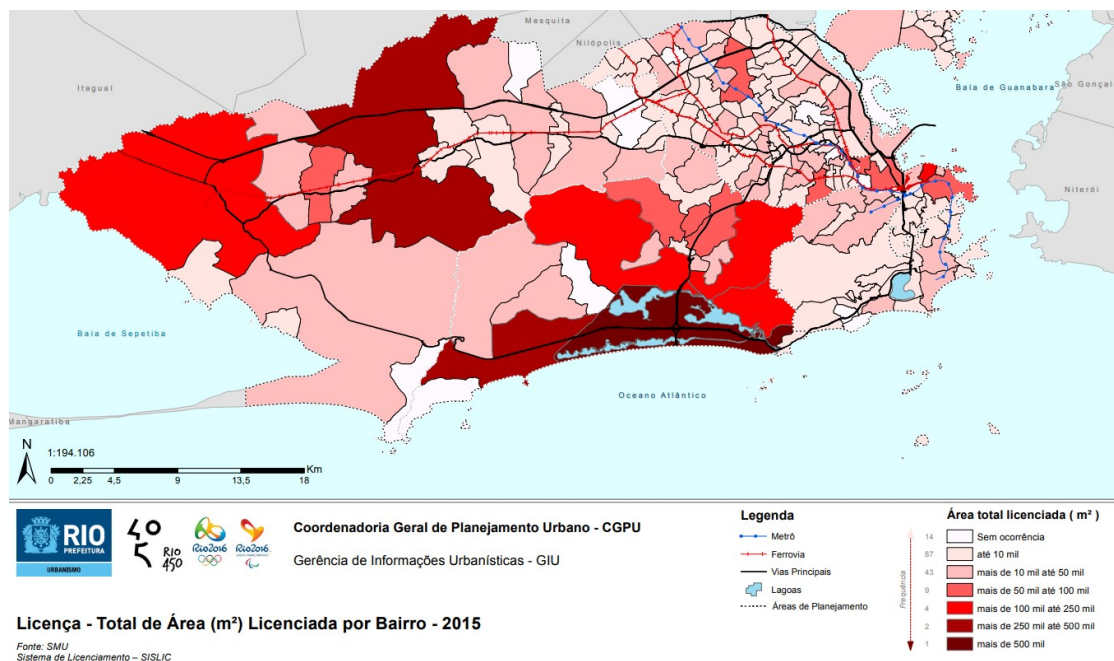
Tal dinâmica pode ser explicada pela ação de diversos fatores que provocam a atração da atividade humana sobre as áreas cuja presença deveria ser contida nas metrópoles brasileiras (MARICATO, 2000; CALDEIRA, 2000), como: a oferta de postos de trabalho, a presença e pontos turísticos e paisagísticos sobre seu território, a especulação imobiliária a migração das camadas de maior renda das demais áreas da cidade como alternativa para se evitar a violência urbana. Estes fatores têm provocado, portanto, um adensamento urbano não previsto principalmente na AP 4, conforme pode ser observado no gráfico e mapa abaixo:

Gráfico 20- Evolução total da área licenciada por Área de Planejamento no período 1994-2013



Fonte: PMUS (2015)

Figura 11- Total de área licenciada por uso no período 2009-2013

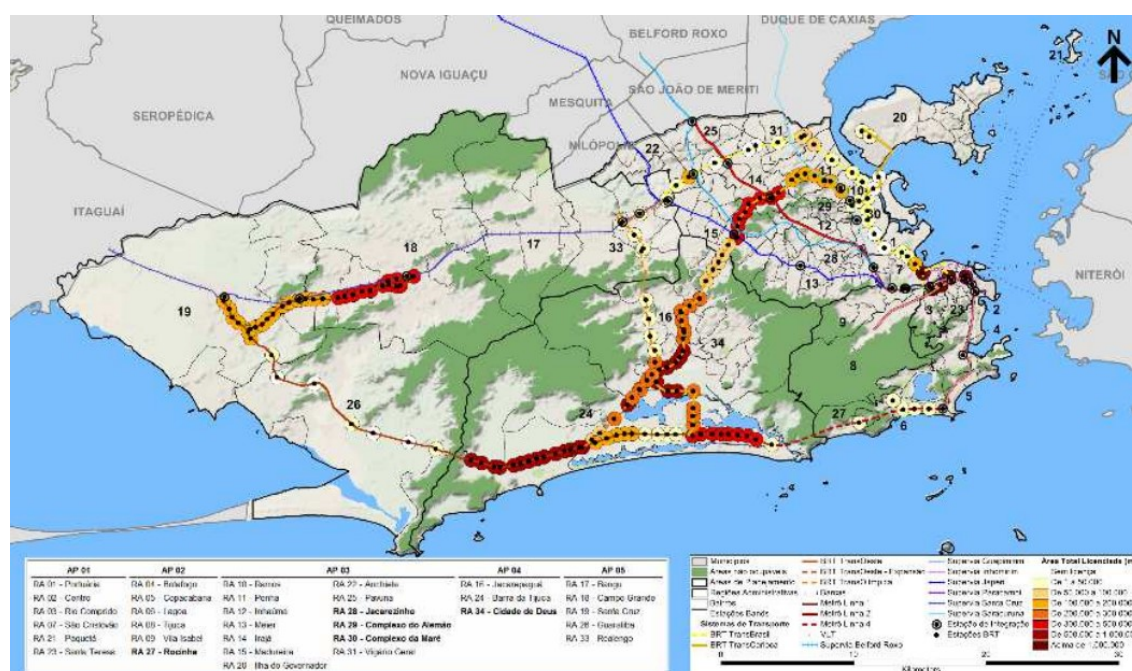


Fonte: Secretaria Municipal de Urbanismo (2015)

Conforme indicam os dados, a AP 4 representou no período 2009-2013 a maior área em expansão da cidade, apresentando uma taxa de licenciamento de 12,6 milhões de metros quadrados, referentes a 86 mil unidades construídas. Adicionalmente, a região apresenta aproximadamente 7.000 unidades (58% do estoque total da cidade) e 652 escrituras (45% do total da cidade) disponíveis para venda, segundo estudo da Associação de Dirigentes e Empresas do Mercado Imobiliário (PMUS, 2015).

Frente a este cenário, o poder público passou a realizar investimentos em infraestrutura de transporte na região (RIO DE JANEIRO, 2020), como a construção do BRT Transoeste, (que liga o bairro de Campo Grande a Barra da Tijuca), Transcarioca (que liga a Barra da Tijuca a Penha), Transolímpica (que liga a Barra da Tijuca a Deodoro) e a Linha 4 do metrô (que liga a Barra da Tijuca a Ipanema). Conforme esperado, este movimento de fornecimento de infraestrutura de transporte provocou uma dinâmica de retroalimentação da já aquecida ocupação urbana.

Figura 12- Área total licenciada nas faixas de influência das estações dos BRTs e Linha 4 do metrô no período 2009-2013



Fonte: PMUS (2015)

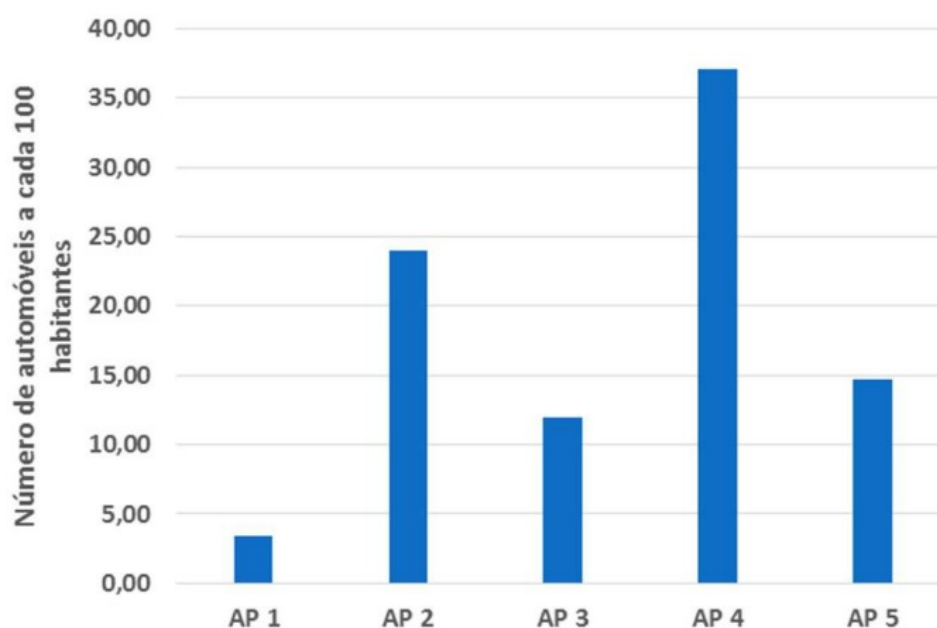
Conforme se pode observar, a concentração do adensamento urbano se localizou preferencialmente nas áreas próximas aos serviços de transporte coletivo, como o metrô e as faixas de BRT. Paralelamente, a população de maior renda que fixou residência na região buscou a modalidade de transporte individual em veículos motorizados para realizar seus deslocamentos, fenômeno este que levou a AP 4 a possuir o maior índice municipal de posse de veículos automotores, conforme tabela e gráfico abaixo:

Tabela 9- Posse de veículos automotores por área de planejamento da cidade do Rio de Janeiro

Posse de automóveis (Veículos/ 100 habitantes)	
AP 1	3,42
AP2	23,99
AP 3	11,94
AP 4	37,11
AP 5	14,67

Fonte: PMUS (2015)

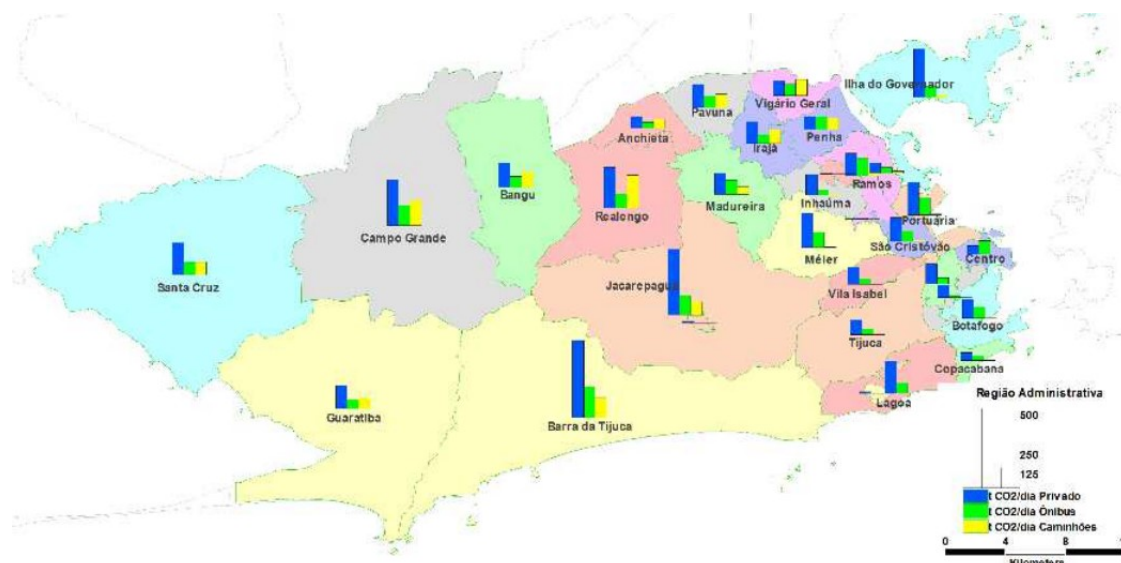
Gráfico 21- Posse de veículos automotores por área de planejamento da cidade do Rio de Janeiro



Fonte: PMUS (2015)

Somados, a posse de veículos automotores individuais e os investimentos em transporte público tornaram a Área de Planejamento 4 a mais intensiva em poluição do ar devido à mobilidade urbana na cidade ao se utilizar as emissões de dióxido de carbono como marcador ambiental (vide mapa abaixo), a despeito das Diretrizes do Plano Diretor para sua ocupação condicionada e das Estratégias de Adaptação às Mudanças Climáticas do Rio de Janeiro, que apontam para a fragilidade urbana local.

Figura 13- Mapa das emissões no Rio de Janeiro por Região Administrativa (t CO₂/dia)



Fonte: PMUS (2015)

Deste modo, é possível inferir que a dinâmica municipal de urbanização está fortemente vinculada à política pública de transportes urbanos (RODRIGUES, 2015), que ao gerar externalidades negativas sobre o tecido urbano, provoca reflexos sobre a realidade ambiental da cidade, podendo inclusive (como observado no caso em estudo) expor ao risco áreas já vulneráveis da cidade.

No caso em questão, a menos que o processo em curso seja revertido ou minorado em alguma medida, poderá ser observada a aceleração dos impactos ambientais já observados sobre a região em análise, conforme identificado na seção 4.1.1 do presente estudo, a saber: elevação do nível do mar, inundações, deslizamento de terra sobre as encostas, invasão do volume de água excedente sobre o subsolo das construções costeiras e redes de abastecimento públicas (eletricidade, esgoto, gás) e instabilidade sobre o transporte local.

4.3 Políticas Públicas como indutoras do Transporte Público Sustentável

Com fins de atender às demandas de políticas públicas identificadas acima, a ação do Poder Público foi delimitada pela Constituição de modo a se adequar ao pacto federativo e otimizar os efeitos de seus resultados (MARTINS e FERREIRA, 2010).

Deste modo, a discussão do papel do poder público municipal enquanto indutor do transporte sustentável local implica na discussão legal de suas competências. No âmbito dos municípios, o artigo 30º da Constituição Federal de 1988 define como atribuições destes entes as seguintes:

“Art. 30. Compete aos municípios:

I – legislar sobre assuntos de interesse local;

V – organizar e prestar, diretamente ou sob regime de concessão ou permissão, os serviços públicos de interesse local, incluído o de transporte coletivo, que tem caráter essencial”.

BRASIL (1988)

Deste modo, temos que o SPPO é de competência municipal, bem como a gestão dos impactos gerados pela sua operação. Com fins de lidar com o cenário explorado nas seções anteriores, o poder público tem buscado desenvolver uma institucionalidade capaz de lidar com os desafios trazidos pelo aquecimento global e o aumento local da poluição do ar (BRASIL, 2017). No entanto, a Política Pública Municipal de Transportes Sustentáveis (PMUS) do Rio de Janeiro não apresenta um arcabouço centralizado, estando pulverizada em numerosas legislações e atos normativos instituídos pelo poder executivo. Tais definições podem ser inicialmente identificadas no Plano Diretor de Desenvolvimento Sustentável da Cidade do Rio de Janeiro, instituído pela Lei Complementar nº 111 de 11 de fevereiro de 2011. Em seu Art. 3º, § VIII, a lei estabelece que entre suas diretrizes está contido o “incentivo ao transporte público de alta capacidade, menos poluente e de menor consumo de energia”.

Para atingir seus objetivos, o Plano Diretor estabelece em seu Art. 155º o Fundo Municipal de Mobilidade Urbana Sustentável (FMUS), instituído pela Lei Municipal nº 6.320 de 16 de Janeiro de 2018, que tem por objetivo:

(...) criar condições financeiras e gerenciar os recursos destinados ao desenvolvimento das ações de controle, fiscalização e policiamento do trânsito e tráfego, nas vias, estradas e logradouros do Município, dando suporte financeiro às políticas

públicas municipais de melhoria da mobilidade urbana, a fim de proporcionar o acesso amplo e democrático ao espaço de forma segura, socialmente inclusiva e sustentável.

RIO DE JANEIRO (2018)

Para tanto, a lei foi regulamentada pelo Decreto Municipal nº 46.402 de 21 de agosto 2019, que determinou suas fontes de financiamento, sintetizadas na tabela abaixo:

Quadro 6- Fontes de financiamento do Fundo Municipal de Mobilidade Urbana Sustentável do município do Rio de Janeiro

Dotações orçamentárias consignadas, anualmente, no orçamento Municipal e créditos adicionais que lhe sejam destinados
Dotações federais ou estaduais, não reembolsáveis, a ele especificamente destinadas
Receitas tarifárias provenientes do sistema de transporte coletivo público
Recursos obtidos junto a organismos de fomento, nacionais e internacionais, para os fins a que se propõe o Fundo
Receitas decorrentes de contrapartidas estabelecidas para mitigar e/ou compensar os impactos negativos ao trânsito decorrentes de empreendimentos imobiliários
Produto de operações de crédito celebradas com organismos nacionais ou internacionais
Subvenções, contribuições, transferências e participações do Município em convênios, contratos e consórcios, relativos à finalidade do Fundo
Doações, públicas ou privadas, de pessoas físicas ou jurídicas
Recursos obtidos por serviços prestados pela Secretaria Municipal de Transportes
Resultado da aplicação de seus recursos
Recursos decorrentes de valor de outorga objeto de procedimentos licitatórios vinculados ao sistema de transporte público de passageiros em linhas municipais
Recursos decorrentes de multas oriundas de aplicação de infração administrativa praticada pelos operadores do sistema de transporte coletivo de passageiros e pelos autorizatários e permissionários dos demais modais que integram o Sistema Municipal de Transportes, assim como os recursos oriundos da exploração da atividade de transporte remunerado irregular de passageiros, sem a prévia autorização, concessão ou permissão do Poder Público Municipal, na forma do Decreto nº 40.518, de 12 de agosto de 2015
Recursos provenientes das multas de trânsito
Recursos decorrentes de condenações judiciais por danos causados aos bens e direitos difusos e coletivos tutelados pelas Leis nº 4.717, de 29 de junho de 1965, e 7.347, de 24 de julho de 1985, a reverterem integralmente na recuperação dos mesmos, na promoção de eventos e materiais educativos, científicos e informativos relacionados com a natureza da infração ou dos danos causados, bem como na modernização administrativa dos órgãos públicos responsáveis pela execução das políticas públicas de mobilidade urbana
Outras receitas

Fonte: Rio de Janeiro, 2019

O Anexo da Lei em estudo define as fontes de financiamento de acordo com as suas dotações orçamentárias, que de acordo com a Lei Orçamentária Anual do Município do Rio de Janeiro resultam nos seguintes valores:

Tabela 10- Previsão orçamentária das rubricas referentes ao financiamento do Fundo Municipal de Mobilidade Urbana Sustentável do município do Rio de Janeiro referente ao exercício do ano de 2020

Fonte	Descrição	Valor (R\$)
1.1.2.8.01.91.0012	Taxa de Fiscalização de Transportes de Passageiros	14.094.408
1.9.1.0.01.11.0003	Multas de Trânsito - Grave	Não identificado
1.9.1.0.01.11.0004	Multas de Trânsito-Convênio Município/DETRAN	293.430.405
1.9.1.0.01.11.0005	Multas de Trânsito - Conversão em Receita	Não identificado
1.9.1.0.01.11.0006	Outras Multas de Trânsito	5.207.443
1.9.1.0.01.11.0007	Multas de Trânsito - Registro Nac. de Infrações de Trânsito - RENAINF	Não identificado
1.9.1.0.01.11.0008	Multas de Trânsito - Lei Nº 5.637/2013 - SMTR	7.014
1.9.1.0.01.11.0009	Multas de Trânsito - Transporte Irregular	Não identificado
1.9.1.0.01.11.0010	Multas Previstas na Legislação de Trânsito - DREM	Não identificado
1.9.1.0.01.11.0011	Multas - Administração Direta	11.196.499

Fonte: Elaboração própria a partir de RIO DE JANEIRO (2019.a) e RIO DE JANEIRO (2019.b)

As rubricas listadas como “Não Identificadas” não constam na Lei Orçamentária do Município para o exercício de 2020 (um ano depois da implementação do Decreto nº 46.402), ainda que este tenha estabelecido sua entrada em vigor na data de sua publicação. Este fato aponta, portanto, para uma dissonância entre as políticas públicas, pois apresenta uma inconsistência no financiamento de suas ações. De todo modo, é possível identificar que apenas metade das fontes de financiamento do PMUS, que correspondem a R\$ 323.935.769,00, são capazes de financiar 100% do custo da implantação de biocombustíveis no município (avaliados anualmente em R\$ 131.009.978,4), da transição para os ônibus movidos à gás natural (avaliada em R\$ R\$ 184.896.000) e da eletrificação total da frota em um prazo de vinte anos, conforme se demonstrará no capítulo 5 deste estudo.

Em uma perspectiva jurídico-administrativa, tanto o PMUS quanto o FMUS estão inseridos na Política Pública ambiental municipal, que por sua vez se desdobra em vários temas, como políticas de reflorestamento, de gestão dos recursos hídricos e de

adaptação às mudanças climáticas (RIO DE JANEIRO, 2019), possuindo cada tema sua institucionalidade, ações e arcabouço legal próprio.

O arcabouço legal da política municipal de transportes sustentáveis se encontra na Lei nº 5.248 de 27 de janeiro de 2011, que define a “Política Municipal de Mudanças Climáticas”, cuja seção II do capítulo IV se destina integralmente ao trato do setor de transportes sobre as mudanças climáticas enfrentadas pela cidade. Em suas alíneas VII e VII de seu artigo 11º, a lei define que dentre suas medidas incluem-se:

VII – substituição gradativa da utilização dos combustíveis fósseis por outros com baixo teor de

carbono;

VIII - incentivo à utilização de combustíveis renováveis na frota de veículos, como os

Biocombustíveis

Fonte: RIO DE JANEIRO (2011)

Ao implantar estas medidas, a lei objetiva reduzir as emissões de dióxido de carbono em 8% em 2012, 16% em 2016 e 20% em 2020, em relação às emissões registradas em 2005 (RIO DE JANEIRO, 2020). Para tanto, é possível notar que a política de transportes sustentáveis possui já em seu início a preocupação com a implantação de combustíveis sustentáveis, tendo citado explicitamente os biocombustíveis – não implantados até a atualidade.

Na esteira deste processo o poder público editou uma série de decretos a respeito do tema, tendo o Decreto nº 31.417 de 30 de novembro de 2009 tratado especificamente da implantação do programa de redução de emissão de gases de efeito estufa no setor de transportes. Complementarmente, o decreto nº 46.078 de 11 de junho de 2019, dispõe sobre a política municipal de desenvolvimento sustentável; o decreto nº 46.081 de 11 de junho de 2019, declara a adesão da Cidade do Rio de Janeiro em promover ruas verdes e saudáveis – também com prazos para redução de gases de efeito estufa em sua frota de transporte (produzindo o grupo de trabalho para eletrificação da frota municipal) e o Decreto nº 46.079 de 11 de junho de 2019, que institui o Programa Cidades Pelo Clima.

Ao proceder uma análise dos marcos legais e administrativos elencados acima, é possível inferir que a cidade do Rio de Janeiro incluiu em sua pauta de políticas públicas ambientais explicitamente o tema do aquecimento global e das adaptações às mudanças climáticas principalmente a partir de 2009. No âmbito da elaboração destas políticas, demonstraram os poderes legislativo e executivo a preocupação com os

impactos que o setor de transporte público rodoviário municipal é capaz de provocar sobre a cidade, desenhando portanto diretrizes e medidas específicas para tratar do tema. No entanto, ao analisar as medidas específicas para efetivar as políticas em estudo, é possível perceber que pouco se avançou na condução da questão, uma vez que o PMUS ainda não foi implantado, posto que sua principal fonte de financiamento, o FMUS, ainda não foi consolidada.

Ademais, os atos administrativos complementares que se destinaram a tratar da questão, como o decreto nº 44.120 de 08 de janeiro de 2018 (destinado a implementação de biocombustíveis) e o decreto nº 46.081 de 11 de junho de 2019 (destinado a transicionar os ônibus do município para uma matriz elétrica) ainda não foram implementados ou apresentaram estudos detalhados contendo informações a respeito do dimensionamento de seus custos ou valorações dos impactos que estimam provocar sobre o município. Para tanto, as seções 5.1 e 5.3 desta dissertação pretendem contribuir para a atual lacuna conceitual presente na elaboração e implementação destas políticas públicas, apresentando adicionalmente em sua seção 5.2 uma alternativa em relação a estas matrizes energéticas estudadas, correspondente à implementação do gás natural enquanto combustível no sistema municipal de ônibus urbanos.

5. Análise quantitativa das soluções sustentáveis para o transporte público municipal

A análise quantitativa a ser desenvolvida no presente estudo busca se adequar às especificidades do transporte público municipal na cidade do Rio de Janeiro. Para tanto, buscou-se levar em consideração a tendência histórica da quantidade de veículos operantes no município, suas características, seu potencial de emissão e seu percurso médio mensal, contrapondo estes dados à tendência histórica da qualidade do ar no município em períodos equivalentes.

Preliminarmente, esta análise levou à duas principais conclusões: a quantidade de emissões de material particulado no município segue a tendência de operação de seus ônibus urbanos, ao passo em que as emissões de monóxido de carbono apresentam uma tendência oposta no período, conforme se pode observar nas tabelas abaixo:

Tabela 11- Evolução da frota pertencente ao SPPO no Rio de Janeiro

Ano	Quantidade de veículos
2016	8.114
2017	7.638
2018 (janeiro)	7.672
2018 (dezembro)	6.132
2019	6.180

Fonte: Elaboração Própria a partir de dados da SMTR (2019)

Tabela 12- Evolução da concentração de Material Particulado na Cidade do Rio de Janeiro

Ano	Média Municipal
2016	37,93
2017	34,73
2018	33,74

Fonte: Elaboração Própria a partir de dados de MonitorAr (2019)

Tabela 13- Evolução da concentração de Monóxido de Carbono na Cidade do Rio de Janeiro

Ano	Concentração
2016	0,42
2017	0,44
2018	0,45

Fonte: Elaboração Própria a partir de dados de MonitorAr (2019)

É importante salientar que a progressiva redução da quantidade de veículos pertencentes à frota de ônibus segue a tendência nacional e foi autorizada pelo Poder Executivo Municipal em virtude de razões diversas, como a redução da demanda de passageiros ocasionada pela crise econômica que atingiu o município (reduzindo tanto em viagens cotidianas a trabalho quanto as sazonais a lazer); a inauguração e operação do Veículo Leve sobre Trilhos (VLT); e o aumento crescente da frota de veículos leves individuais destinados ao transporte de passageiros via aplicativos eletrônicos.

A respeito do exposto acima, se depreende o seguinte: a) A redução crescente na série temporal analisada de veículos pertencentes ao SPPO implica em uma redução correspondente na quantidade de poluentes resultantes da queima do Diesel utilizado por estes veículos; b) A quantidade de poluição do ar provocada pela operacionalização

do VLT foi considerada desprezível para fins do presente estudo, uma vez que configura transporte coletivo movido por corrente elétrica; c) Para fins de análise da evolução dos poluentes atmosféricos presentes na cidade do Rio de Janeiro provocados pela operacionalização do setor de transportes, consideraram-se os efeitos da crise econômica e seu impacto negativo na demanda por transporte público *lato sensu* como homogêneos, uma vez que, em tese, atingiram coletivamente os modais rodoviários, metroviários, ferroviários e aquaviários – dado que não se encontram indícios na literatura ou bases de dados públicos de assimetrias recentes no comportamento da demanda no período; d) O comportamento crescente da concentração de monóxido de carbono presente na atmosfera do município a despeito da redução da quantidade total de ônibus urbanos pode ser explicada, ao menos parcialmente, pela participação crescente dos veículos leves de transportes de passageiros geridos por aplicativos virtuais, posto que se utilizam preferencialmente de gasolina para a operacionalização de suas atividades (tabela 14).

Tabela 14- Estimativa de emissão das fontes de poluição do ar

Fatores de Emissão (Fontes Móveis)		Emissão (1000 t/ano)				
		CO	HC	NO	SO _x	MP ₄
Tubo de escapamento de veículos	Gasolina C	790,2	84,2	51,8	9,1	5,2
	Álcool	221,5	22,9	12,6	-	-
	Diesel	444,4	72,4	324,5	11,2	20,2
	Táxi	2,3	0,5	0,7	0,3	0,1
	Motocicletas e similares	238,9	31,5	1,2	0,5	0,6
Carter e evaporativa	Gasolina C	-	134,1	-	-	-
	Álcool	-	17,2	-	-	-
	Motocicletas e similares	-	17	-	-	-
Pneus	Todos os tipos	-	-	-	-	8,3
Operações de transferência de combustível	Gasolina C	-	12,4	-	-	-
	Álcool	-	0,6	-	-	-

Fonte: CETESB (2002)

Ao analisar a tabela, é possível identificar que os veículos movidos a gasolina emitem aproximadamente o dobro da quantidade de monóxido de carbono

correspondente quando comparado ao Diesel utilizado no SPPO. Cumpre esclarecer que ainda que não é possível produzir uma série histórica da evolução da frota de veículos particulares de transporte de passageiros por aplicativos eletrônicos devido à recusa de fornecimento destes dados pelas empresas gestoras destes sistemas, em descumprimento ao Decreto Rio nº 44.399 de 11 de abril de 2018 e da Deliberação nº 01 de 26 de abril de 2018 do Comitê Municipal de Tecnologia Aplicada ao Sistema Viário Urbano, que estabelecem a obrigatoriedade de repasse das informações referentes às operações destas empresas, com fins de “(...) promover o desenvolvimento sustentável do município, nas condições socioeconômicas, inclusivas e ambientais” e “(...) harmonizar-se com o estímulo ao uso do transporte público e aos meios alternativos de transporte individual” (RIO DE JANEIRO, 2018). No entanto, é possível inferir a quantidade de poluentes emitidos pela operação destes agentes, conforme se observa na tabela abaixo:

Tabela 15- Diferença de poluentes emitidos para os combustíveis do Ciclo Otto por Macrozona para os cenários com e sem transporte por aplicativo (por toneladas, ano base 2018)

Regiões	CO2	CO	NOX	RCHO	NMHC	CH4	MP
Zona Sul	- 67.384,30	- 15.317,00	- 3.783,30	- 157,70	- 1.407,20	- 2.762,50	- 18,50
Zona Norte	29.954,60	6.808,90	1.681,80	70,10	625,50	1.228,00	8,20
Centro	- 49.847,70	- 11.330,80	- 2.798,70	- 116,70	- 1.041,00	- 2.043,60	- 13,70
Barra/ Recreio	29.165,90	- 6.629,70	- 1.637,50	- 68,30	- 609,10	- 1.195,70	- 8,00
Zona Oeste II	12.168,60	- 2.766,00	- 683,20	- 28,50	- 254,10	- 498,90	- 3,30
Ilha do Governador	1.681,50	382,20	94,40	3,90	35,10	68,90	0,50
Região de Madureira	- 12.141,10	- 2.759,80	- 681,70	- 28,40	- 253,50	- 497,70	- 3,30
Zona Oeste I	28.305,60	6.434,10	1.589,20	66,20	591,10	1.160,40	7,80
Total	- 110.765,80	- 25.178,00	- 6.219,00	- 259,20	- 2.313,10	- 4.541,00	- 30,50

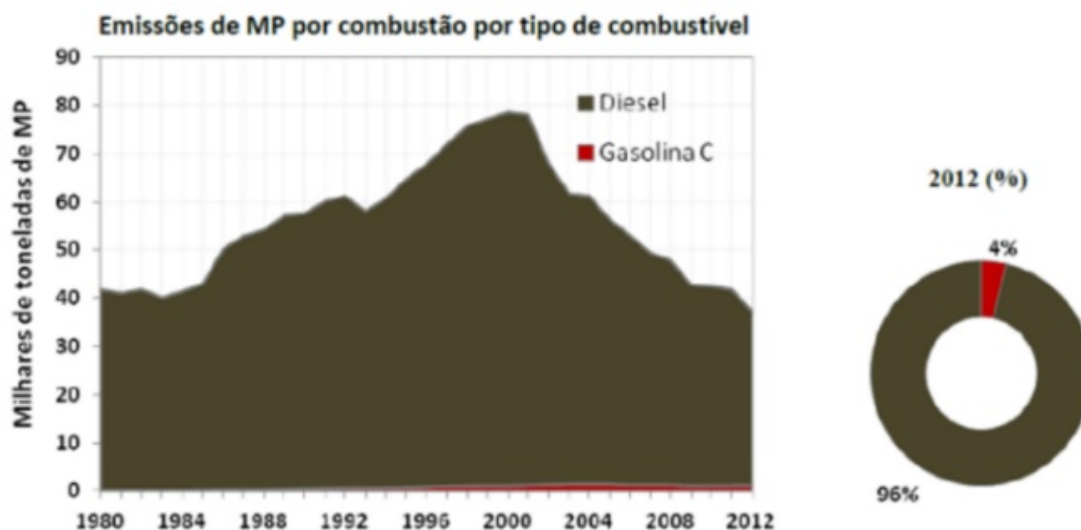
Fonte: Diário Oficial da Câmara Municipal do Rio de Janeiro (2019)

Deste modo, é possível notar que a evolução do transporte de veículos individuais por aplicativo é responsável pela emissão anual de 25.178 toneladas de CO, evitáveis caso a demanda equivalente de passageiros optasse pelo transporte público via SPPO – fato esse que contribui para a progressão constante das concentrações de monóxido de

carbono na atmosfera do município. Neste compasso, cabe analisar em estudos futuros os impactos desta atividade sobre as concentrações dos demais poluentes identificados na cidade. Serão ignorados, portanto, os impactos crescentes na evolução dos serviços de transporte de passageiros por aplicativos sobre as emissões e concentrações de monóxido de carbono na cidade do Rio de Janeiro, uma vez que ainda que mereçam atenção mais detida, extrapolam o escopo do presente estudo, além de não se encontrarem disponíveis até o momento dados para a elaboração da análise em questão.

No que tange aos objetivos desta análise quantitativa, parte-se da premissa de que o SPPO é a opção de transportes mais representativa quanto à emissão do poluente mais nocivo à saúde da população local ($MP_{2,5}$) segundo dados da Organização Mundial da Saúde (2016), do Ministério do Meio Ambiente (2013), TOLEDO (2019) e BURNETT et al. (2018), tanto pelo potencial poluidor quanto pelo volume de ônibus presentes na malha viária da cidade. A participação predominante da emissão deste poluente em relação à queima de Diesel pode ser observada a partir de dados fornecidos pelo ministério do Meio Ambiente, conforme segue abaixo:

Figura 14- Emissões totais de material particulado por combustão segundo tipo de combustível



Fonte: MMA (2013)

De modo a obter um cenário mais conservador em relação aos efeitos econômicos provocados pela emissão de material particulado pelo SPPO, levou-se em consideração apenas o material particulado inalável fino por ser o principal responsável pelos efeitos danosos à saúde humana (OMS, 2006), uma vez que constitui a soma de partículas

líquidas e sólidas em suspensão no ar, passíveis de serem inaladas e atingir o sistema respiratório e a circulação sanguínea, ocasionando doenças e cardiovasculares e respiratórias crônicas.

Ademais, cumpre esclarecer que além do material particulado, todas as alternativas tecnológicas aqui analisadas para a substituição do diesel utilizado no SPPO também considerarão seus impactos sobre as emissões de CO₂, que de acordo com IPCC (2018) constitui o poluente mais representativo para a geração local do efeito estufa, levando, entre outros efeitos, ao aumento da temperatura intraurbana no município.

Deste modo o presente estudo se concentrará nos efeitos econômicos e ambientais da conversão do SPPO para alternativas sustentáveis, entendendo este sistema como a principal opção de transporte coletivo na cidade, emitindo os principais volumes de material particulado e gás carbônico dentre este conjunto – tendo em vista que os resultados encontrados abaixo poderão ser minorados ou majorados em virtude da evolução de veículos particulares presentes na malha urbana, pertencentes ou não ao sistema de transporte individual de passageiros por aplicativos eletrônicos.

5.1 Biodiesel

5.1.1 Contextualização

Os resultados da análise desenvolvida nesta seção foram inicialmente apresentados no XIII Congresso da Sociedade Brasileira de Economia Ambiental, realizado na Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) em setembro de 2019.

As principais políticas públicas no setor de transportes urbanos relativas ao controle de poluição por fontes móveis incluem a expansão da oferta do sistema viário público, diminuindo, portanto, modais particulares individuais (BRASIL, 2012) e sua conversão para utilização de fontes de energia menos poluentes (MACKNIGHT & YOUNG, 2006; RIO DE JANEIRO, 2011b). Entre essas tecnologias, destaca-se a utilização de biocombustíveis, que entre outras vantagens apresenta níveis de emissões de poluentes locais como materiais particulados, sensivelmente menores (D'AGOSTO et al., 2017), e como não provém de materiais de origem fóssil, podem reduzir emissões de poluentes globais como gases de efeito estufa. É importante ressaltar que os biocombustíveis podem ser utilizados exclusivamente como fontes de energia dos modais urbanos (B100) ou serem escalonados em misturas nas quais sua

presença nos combustíveis é definida em porcentagens, como 10% (B10), 20% (B20), 50% (B50) e assim sucessivamente.

No âmbito da cidade do Rio de Janeiro, esta iniciativa foi formalizada pelo Decreto Municipal nº 44.210 de 8 de janeiro de 2018, cujo principal efeito desejado consta em seu artigo primeiro: “Ficam as empresas concessionárias do Sistema de Transporte Público por Ônibus obrigadas a utilizar 20% de Biodiesel (B20) em adição ao combustível fóssil (diesel) utilizado em sua frota, visando reduzir suas emissões em 70% de Dióxido de Carbono (CO₂)”. (RIO DE JANEIRO, 2018).

Observe-se que o decreto obriga as empresas vencedoras da licitação para operação de transportes urbanos por ônibus na cidade do Rio de Janeiro a implementar a utilização de 20% de biodiesel nos combustíveis utilizados por suas frotas em um prazo de sessenta dias, previamente ao que a legislação estabeleceu² e aos limites e cronograma determinados atualmente pela Resolução nº 16, de 29 de Outubro de 2018 do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE)³. Para justificar e embasar a implementação desta política pública na forma da edição de um decreto, o executivo municipal forneceu as seguintes razões quando de sua publicação (RIO DE JANEIRO, 2018):

- a) Existência de estudos publicados por centros de pesquisa nos quais se demonstra que a adição de B20 nos combustíveis reduz a emissão de gases tóxicos em 14%, reduzindo assim a incidência de doenças respiratórias, alérgicas, cardiovasculares, neurológicas e o câncer de pulmão, bem como seus custos hospitalares associados (BRASIL, 2005. p. 20).
- b) A inclusão de biocombustíveis na grade energética urbana para a reduzir o aumento crescente da temperatura atmosférica, bem como demais alterações climáticas e proliferações de mosquitos vetores de doenças como dengue e febre amarela, cuja população mais atingida constitui a de menor renda.
- c) O potencial econômico da inclusão do B20 na produção do município, uma vez que pode atuar como fator atrativo de empregos, reduzir a capacidade ociosa de produção de biodiesel e diminuição da importação de diesel fóssil na ordem de 12 bilhões de

2 <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2016/lei-13263-23-marco-2016-782625-publicacaooriginal-149818-pl.html>

3 http://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/56125885

litros/ano, representando uma evasão de U\$ 7 bilhões anuais em divisas.

d) A existência de testes realizados pela Federação das Empresas de Transportes de Passageiros do Estado do Rio de Janeiro em modais urbanos das concessionárias atuantes no município do Rio de Janeiro, cujos resultados concluem que a adição de B20 não alterou o rendimento dos motores em relação ao combustível fóssil tradicionalmente utilizado (FETRANSPOR, 2011).

e) A fixação dos preços do biodiesel e do diesel fóssil ser determinada por fatores exógenos, tendo a variabilidade no período 2014-2017 se mostrado compensatória.

f) A existência de legislações e normatizações federais que facultam a adição de B20 na matriz energética de modais urbanos regulados pelo poder público.

Para se identificar o custo Financeiro de Implementação do B20 são avaliados esses fatores, comparativamente a dois cenários: no primeiro é realizada a conversão do B10 para o B20, ao passo que no segundo mantém-se os custos praticados com a utilização do B10.

Cenário A: B10 → B20 = Custo A (Ca)

Cenário B: Mantém B10 = Custo B (Cb)

Custo Financeiro de Implementação do B20 = Δ (Ca – Cb)

Deste modo, se objetiva identificar a diferença de custo associada à conversão de um cenário para o outro. Como se identifica o custo associado ao cenário B como zero (dado que se trata apenas da manutenção dos custos que se aplicam atualmente), o resultado da fórmula corresponderá ao custo da conversão de biocombustíveis B10 para o B20 na frota de ônibus urbanos no município do Rio de Janeiro.

Retomando a ideia dos custos associados a esta conversão, categorizamos os custos que compõem esta diferença em três fatores, sendo eles o de produção, logística e o de depreciação. O custo de produção se refere à alteração da proporção de diesel mineral e B100, sendo que o B100 é adquirido por meio de leilões realizados pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). A elaboração do B20 implica na substituição de 10% de volume de diesel mineral por B100, em relação ao B10, havendo um custo diferencial na matéria-prima necessária à elaboração do B20. O custo destes componentes foi levantado dos dados disponíveis no portal ANP, sendo calculada a variação de custo de formulação do B10 para o B20.

O segundo fator a ser considerado na fórmula apresentada acima é o custo

logístico. A relevância da adoção deste fator na avaliação dos custos financeiros relacionados à conversão do B10 para o B20 nas frotas municipais se justifica pela magnitude dos investimentos a serem realizados devido à imposição de questões de ordem prática, como sua estocagem, transporte e armazenagem (sintetizadas em nosso modelo como “custo logístico”). Segundo D’Agosto et al. (2018, p. 24), os custos operacionais relacionados a esta etapa compreendem a limpeza e drenagem dos tanques de estocagem nas bases de distribuição e nas garagens, bem como das tubulações, filtros e bombas de abastecimento do combustível, de modo a se evitar a contaminação do produto e o entupimento do sistema de abastecimento devido a deposição de borra diluída pelo novo combustível. Também é necessário considerar o custo associado à vedação dos reservatórios para se evitar a exposição à luz, devido a maior instabilidade do produto relacionada à oxidação – cuidados estes que também devem ser observados nas etapas de transporte, armazenamento e abastecimento. Adicionalmente aos custos operacionais, D’Agosto et al. (2018, p. 27) apontam que o custo de alteração da tancagem é pouco relevante, uma vez que o volume adicional de biodiesel a ser fornecido pelas distribuidoras (principalmente Ipiranga, Raízen e Petrobras Distribuidora no estado do Rio de Janeiro) para as empresas de ônibus do município constitui grandeza desprezível para fins de cálculo. Contudo o custo de transporte do volume adicional de biodiesel deve ser explicitado, uma vez que na maior parte do país atualmente o transporte do B100 é rodoviário, a partir da usina produtora até a base de mistura e distribuição. O volume adicional de B100 transportado impactará o custo logístico do B20.

Finalmente, o terceiro fator a ser considerado na identificação dos custos de conversão do B10 para o B20 nas frotas municipais se relaciona ao custo de depreciação dos veículos. Estudos realizados por OCTEL (2005) e Fazal et al. (2012, 2010) indicam o potencial de corrosão e abrasividade do B20 sobre os motores presentes nos veículos que utilizam este tipo de combustível. Adicionalmente, Kumar et al. (2012) apontam o desgaste produzido na cabeça do cilindro do motor causado pelo acúmulo de borra contendo altos níveis de sódio, possivelmente causados pelo acúmulo de sedimentos dissolvidos no óleo do motor. Deste modo, o modelo prevê que o desgaste físico associado à utilização do B20 pela frota de ônibus ocasionará um efeito inflacionário sobre os novos veículos a serem adquiridos, devido à redução da vida útil do bem – o que implica na indispensabilidade da consideração deste custo para a construção de um modelo que vise identificar o impacto financeiro no processo

de conversão da frota em análise.

Retomando o raciocínio relacionado à formulação quantitativa do modelo, temos que o custo financeiro de conversão da frota pode ser expresso pela seguinte proposição:

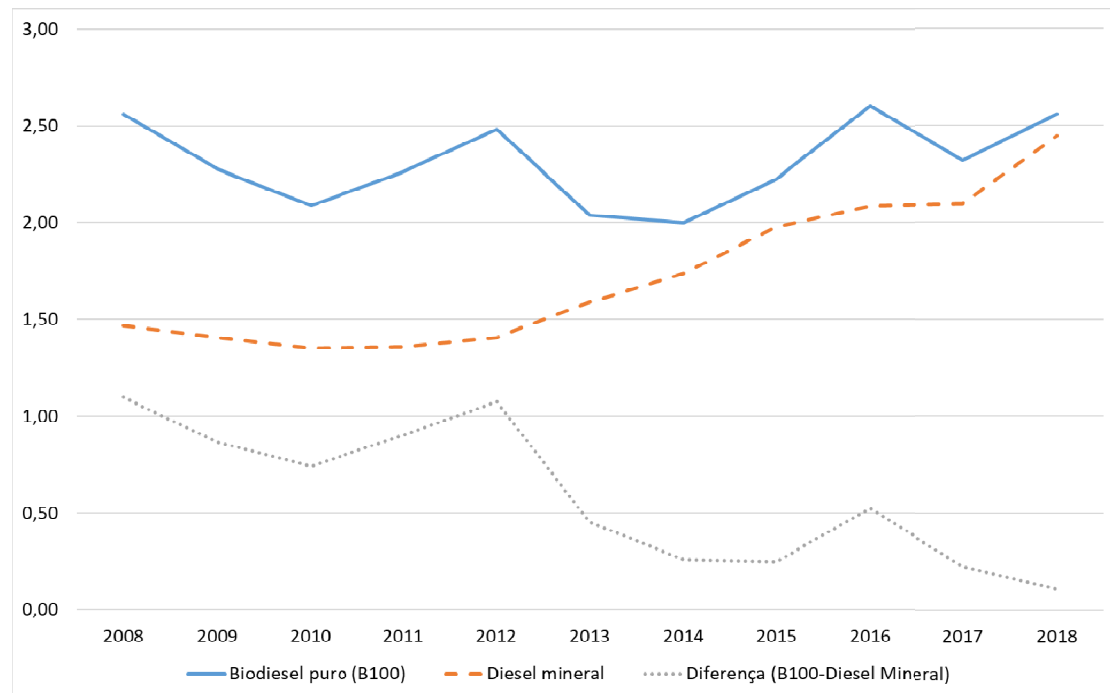
$$\Delta (C_a - C_b) = C_p + C_l + C_d$$

Considerando as premissas citadas, o custo financeiro de conversão do B10 para o B20 ($\Delta [C_a - C_b]$) corresponde à soma da variação de custo de matéria-prima para atender a concentração desejada (C_p) mais o custo logístico (C_l) associado ao transporte do volume adicional de B100 mais o custo relacionado à cobertura da depreciação provocada do biodiesel sobre os veículos que o utilizarão (C_d), que se traduz em inflação de custo sobre este bem.

5.1.2 Custo de Produção

Para desenvolver o cálculo do custo adicional de produção do B20, é necessário comparar os preços dos dois componentes envolvidos na sua elaboração, diesel mineral e B100. Para tanto, foram utilizados dados de preços disponíveis no portal da ANP, comparando-se os preços praticados antes de margens e impostos, do diesel mineral pelos produtores e importadores de derivados de petróleo e os preços médios de aquisição de B100 nos leilões dos últimos 10 anos. Com estes valores médios anuais para o Brasil foi elaborado o gráfico 22.

Gráfico 22- Preços comparados Biodiesel (B100) adquirido nos Leilões ANP X Diesel Mineral (R\$/L)

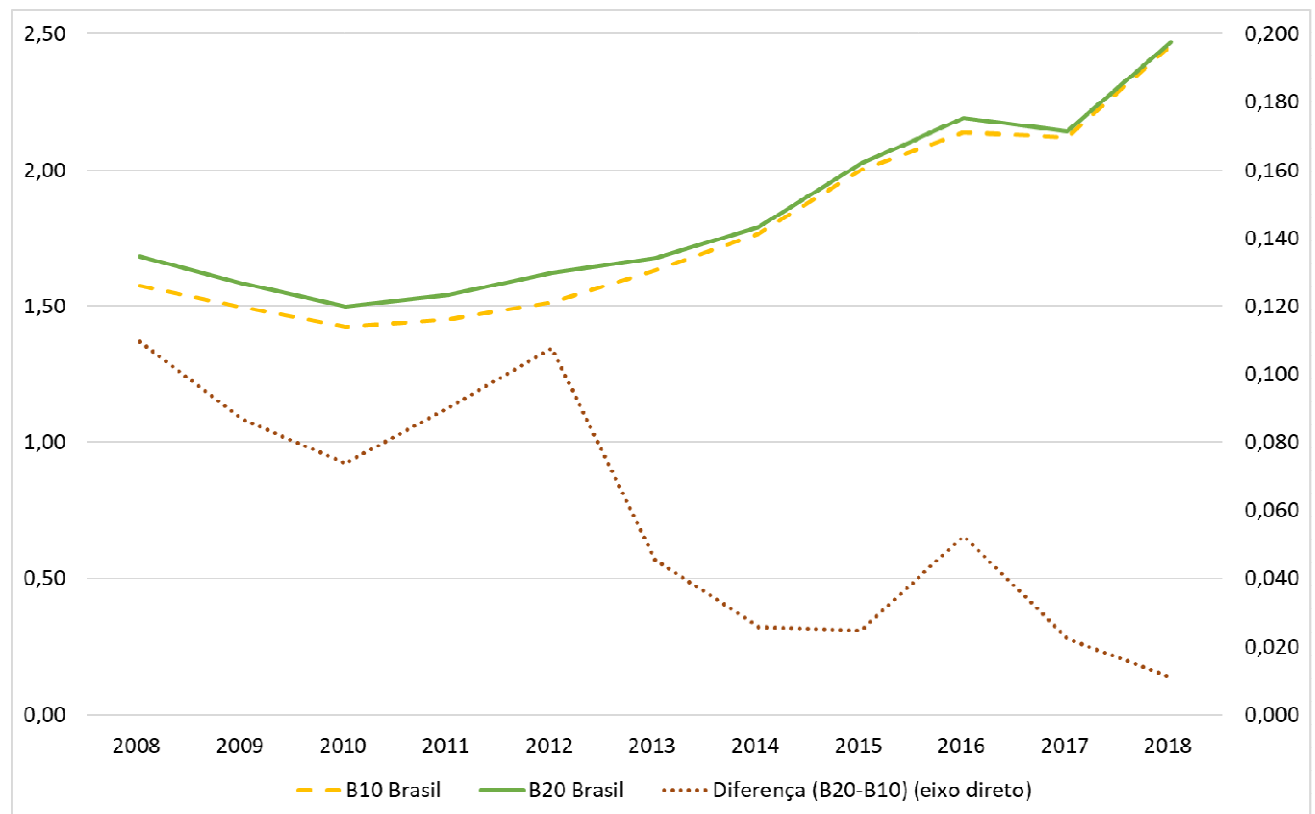


Fonte: Elaboração própria a partir de dados da ANP.

Como se pode observar, o custo dos volumes de B100 adquiridos nos leilões têm se mantido acima do custo do diesel mineral nos últimos 10 anos, apesar desta diferença mostrar uma tendência declinante, que nos últimos 5 anos tem se situado em torno de 27 centavos por litro. Independentemente do valor diferencial, podemos concluir que a adoção de quaisquer teores mais elevados de B100 na mistura do diesel produto final comercial, implicaria em acréscimo do custo da mistura.

De posse destes dados, calculou-se os custos de produção dos volumes de B10 e B20 que seriam alcançados a partir destes preços de seus componentes, mais uma vez, antes de margens e impostos, sendo os resultados apresentados no gráfico 23.

Gráfico 23- Custos comparados de Produção do Biodiesel B10 e B20 (R\$/L)



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da ANP.

Conforme deduzido pela análise do gráfico da Figura 8, efetivamente o diferencial de preços entre o B100 e o diesel mineral, impactam os custos de produção de diesel produto comercial, fazendo com maiores teores de B100, levem a custos mais elevados. Contudo, nos últimos 10 anos, seguindo a já observada tendência declinante de diferencial de preços entre os componentes, a diferença de custo de produção de entre B20 e B10, também é decrescente e nos últimos 5 anos, tem girado em torno de 2,7 centavos por litro.

Estes diferenciais são dependentes de fatores de mercado diversos entre si. Os preços de B100 dependerão da quantidade de ofertantes, preços dos seus insumos como óleos vegetais e matérias primas necessárias à sua produção e os custos da energia. Os preços do diesel mineral variarão fundamentalmente com os preços de petróleo no mercado global.

Para efeito do cálculo de custo de produção, adotaremos então este diferencial médio dos últimos 5 anos. Assim, estimamos o custo adicional relativo ao fator produção (C_p) da passagem da concentração B10 para B20 como sendo de um

acrécimo de R\$ 0,027/L.

5.1.3 Custo Logístico

Considerando a questão de logística de obtenção do B20, conforme as conclusões de D'Agosto *et al.* (2018), considera-se que os potenciais custos de investimentos de adaptação das unidades de distribuição a uma maior movimentação de biocombustível não poderiam ser atribuídos especificamente ao acréscimo de volume de B100 movimentado pela exigência do decreto. Contudo, este aumento de movimentação obviamente implicará em maiores custos operacionais de transporte desde o ponto de produção de B100 até as bases de mistura e distribuição do B20.

Neste sentido, a metodologia adotada para o cálculo do custo logístico adicional relativo à adoção do B20 consiste em quatro etapas: Inicialmente se identificou as usinas de produção de combustível no estado do Rio de Janeiro e sua distância do centro distribuidor do município do Rio de Janeiro, localizado em Duque de Caxias; em segundo lugar se levantou a quantidade de combustível utilizado para realizar o frete do B100 até este centro de distribuição; em seguida se identificou o volume de B100 passível de ser transportado em uma viagem Usina/ Centro de Distribuição; finalmente, se calculou o custo unitário por litro de B100 transportado.

A identificação das usinas produtoras de biodiesel no estado do Rio de Janeiro foi obtida por meio da base de dados mantida pela ANP (2019), a qual resultou em duas instalações, uma localizada em Volta Redonda (141 km de Duque de Caxias) e Porto Real (168 km de Duque de Caxias).

Em seguida se identificou a quantidade de combustível utilizado para realizar o percurso acima descrito. Para tanto se utilizaram dados de GESTRAN (2018), NOVO (2016) e CONTRAN (2018), que apontam como sendo de cinquenta mil litros a capacidade máxima deste veículo e seu rendimento de 3,4 quilômetros percorridos por litro. Deste modo, temos que o volume de combustível necessário para se transportar 50 mil litros de B100 de Volta Redonda e Porto Real para Duque de Caxias são respectivamente 41,47 litros (141 / 3,4) e 49,43 litros (168 / 3,4), que por sua vez correspondem a um custo de R\$ 149,87 (41,47 x 3,614) e R\$ 178,57 (49,43 x 3,614). No caso do B100 ser originado destas usinas, calcula-se um custo de transporte de cada volume em cerca de R\$ 0,003 a 0,0036/L. No entanto, este custo seria um caso de

custo mínimo, o que não pode ser garantido. Para uma estimativa mais conservadora, foi considerada a possibilidade de suprimento de B100 a partir de outras usinas localizadas na região Sudeste e suas respectivas distâncias rodoviárias de Duque de Caxias, a saber, Montes Claros, MG (834 km); Lins, SP (851 km); Charqueadas, SP (602 km) e Araruama, SP (694 km). Utilizando os s parâmetros de cálculo, chega-se a custos de transporte que variam entre R\$ 0,013 a 0,018/L de B100. Assim, para contemplar uma estimativa de custo de transporte mais representativa em termos da potencial origem média preferencial de suprimento do B100 foi estimado o custo do transporte do B100 como de um acréscimo de R\$ 0,01/L. No entanto, como este volume adicional de B100 será diluído para no B10 para se obter B20, este custo também se dilui à um décimo, ficando o custo logístico (C_l) adicional do transporte sobre o volume de B20, na ordem de R\$ 0,001/L.

5.1.4 Custo de Depreciação

O custo de depreciação adicional é entendido neste trabalho como o custo adicional incidente sobre os veículos que realizarão a passagem do diesel de concentração B10 para o B20. O cálculo deste valor para fins do presente estudo se justifica na medida em que, de acordo com D'Agosto et al. (2018), a passagem destas concentrações acarreta a incidência de fatores de ordem física e química (descritos mais pormenorizadamente abaixo) cuja ação exerce um impacto deletério sobre os componentes dos veículos nos quais atuam.

Conforme apontado na primeira seção deste capítulo, Kumar *et al.* (2012) identificam que o primeiro fator de depreciação sobre as peças do veículo causados pela passagem do B10 para o B20 é a concentração de borra na cabeça do cilindro do motor, na qual se identifica grande concentração de sódio – efeitos estes não encontrados em motores que utilizam óleo diesel mineral. Deste modo, se indicou a necessidade da troca do bico injetor de combustível a cada 10 mil quilômetros rodados com a concentração B20.

O segundo fator de depreciação sobre os veículos que utilizam a concentração B20 são as propriedades de solvência desta mistura, conforme descrito por Barbosa (2012). Deste modo, recomenda-se a limpeza dos tanques de armazenamento de combustível dos veículos de modo a evitar que sedimentos dissolvidos possam entupir

seu filtro de combustível, sendo então conduzidos ao sistema de injeção.

De posse destas informações, foram examinados os componentes utilizados pela metodologia do Grupo de Estudos para a Integração da Política de Transportes (GEIPOT) (BRASIL, 1995) para cálculo dos custos das tarifas de transportes urbanos municipais. Esta metodologia contempla uma série de custos identificáveis, como combustível, lubrificantes, peças e acessórios, despesas e remuneração de capital, depreciação da frota, despesas com pessoal e administrativas. Coerentemente com as conclusões dos autores citados, utilizaremos a metodologia do GEIPOT somente quanto aos efeitos do uso do B20 sobre os custos de peças e acessórios. Para tanto, foi considerada um desgaste adicional que aumentaria a taxa de reposição esperada de peças e acessórios em 25%. Ou seja, a metodologia do GEIPOT considera uma certa taxa de necessidade de substituição de peças, dependente da idade do veículo, por exemplo, no caso de veículos com até três anos, é prevista uma taxa de reposição de até 4%. Estima-se, portanto, que com a adoção do B20 esta taxa passaria para 5% para a frota que o utilizasse.

Deste modo, utilizando a planilha do GEIPOT e dados da Associação Nacional dos Transportes Públicos (ANTP, 2017) foi possível estimar o custo da depreciação adicional por quilômetro rodado, quando da mudança do B10 para o B20, que ficou em torno de R\$ 0,0197/km. Recorrendo ao mesmo parâmetro de rendimento de 3,4 km/L para motores diesel, utilizando no cálculo do custo de transporte, obtém-se para o custo de depreciação ou desgaste (C_d) o valor de R\$ 0,007/L de B20 consumido.

5.1.5 Cálculo da quantidade de biodiesel adicional

A metodologia utilizada para o cálculo da quantidade adicional de biodiesel puro (B100) necessária para a transferência do atual modelo B10 para o B20 na frota de ônibus urbanos do município do Rio de Janeiro foi realizada em quatro etapas consecutivas. Na primeira etapa se identificou a diferenciação dos diversos tipos de modais rodoviários utilizados no Serviço de Passageiros por Ônibus (SPPO) e a quantidade de veículos pertencentes a cada categoria, conforme dados brutos disponibilizados pela Secretaria Municipal de Transportes do Rio de Janeiro (SMTR). Na segunda etapa se verificou o volume de consumo médio de combustível relativo a

cada tipo de modal pertencente ao SPPO em termos de quilômetro percorrido por litro de diesel B10. Na terceira etapa se identificou, junto à SMTR, a distância média percorrida por cada modal analisado ao mês (medida em quilômetros). Finalmente, multiplicou-se o resultado da primeira etapa (quantidade de cada modal em relação às categorias de consumo de combustível) pela terceira etapa (quilometragem média de cada modal pertencente ao SPPO), para em seguida multiplicar este resultado pelo resultado da segunda etapa (volume de diesel consumido por cada categoria ao percorrer um quilômetro).

Cabe salientar que os dados disponibilizados se encontravam em forma desagregada para cada um dos consórcios operantes na cidade (Santa Cruz; Internorte, Intersul, Transcarioca e adicionalmente o *Bus Rapid Transit and System* – BRT). Deste modo realizaram-se cálculos individuais para cada consórcio e o sistema BRT, para em seguida agregar as informações e se chegar ao resultado desejado, conforme se demonstra nas tabelas abaixo:

Tabela 16- Categorias de modais pertencentes ao SPPO segundo com seu consumo de combustível (Em litros por quilômetro percorrido)

Consumo de Combustível (L/Km)	
Urbano com Ar	0,538
Urbano sem Ar	0,402
Micro com Ar	0,3835
Micro sem Ar	0,295
Rodoviario	0,469
BRT	0,784

Fonte: Elaboração própria a partir de dados fornecidos pela SMTR (2019)

Tabela 17- Quantitativo de modais segundo seu consumo de diesel total (Consórcio Santa Cruz)

Santa Cruz	Quantidade Modal	Consumo Diesel B10/mês (Em litros)
Urbano com Ar	446	2.255.511
Urbano sem Ar	439	1.658.893
Micro com Ar	264	951.694
Micro sem Ar	25	69.325
Rodoviario	333	1.468.064
Total	1507	6.403.487

Fonte: Elaboração própria a partir de dados fornecidos pela SMTR (2019)

Tabela 18- Quantitativo de modais segundo seu consumo de diesel total (Consórcio Internorte)

Internorte	Quantidade Modal	Consumo Diesel B10/mês (Em litros)
Urbano com Ar	1057	5.345.460
Urbano sem Ar	860	3.249.768
Micro com Ar	0	0
Micro sem Ar	15	41.595
Rodoviario	92	405.591
Total	2024	9.042.414

Fonte: Elaboração própria a partir de dados fornecidos pela SMTR (2019)

Tabela 19- Quantitativo de modais segundo seu consumo de diesel total (Consórcio Intersul)

Intersul	Quantidade Modal	Consumo Diesel B10/mês (Em litros)
Urbano com Ar	726	3.671.527
Urbano sem Ar	511	1.930.967
Micro com Ar	69	248.738
Micro sem Ar	16	44368
Rodoviario	48	211.613
Total	1370	6.107.213

Fonte: Elaboração própria a partir de dados fornecidos pela SMTR (2019)

Tabela 20- Quantitativo de modais segundo seu consumo de diesel total (Consórcio Transcarioca)

Transcarioca	Quantidade Modal	Consumo Diesel B10/mês (Em litros)
Urbano com Ar	733	3.706.928
Urbano sem Ar	676	2.554.469
Micro com Ar	0	0
Micro sem Ar	11	30.503
Rodoviario	181	797.957
Total	1601	7.089.857

Fonte: Elaboração própria a partir de dados fornecidos pela SMTR (2019)

Tabela 21- Quantitativo de modais segundo seu consumo de diesel total (BRT)

BRT	Quantidade Modal	Consumo Diesel B10/mês (Em litros)
Ônibus BRT	346	2.549.882
Total	346	2.549.882

Fonte: Elaboração própria a partir de dados fornecidos pela SMTR (2019)

De posse da quantidade de litros de combustível utilizado por cada um dos consórcios ao longo de um mês, foi possível se identificar a quantidade de combustível utilizado por todo o SPPO no mesmo período, conforme demonstra tabela abaixo:

Tabela 22- Total de diesel B10 consumido no município do Rio de Janeiro por mês

Consórcio	Volume de B10 consumido por mês
BRT	2.549.882
Santa Cruz	6.403.487
Internorte	9.042.415
Intersul	6.107.213
Transcarioca	7.089.856
Total SPPO	31.192.852

Fonte: Elaboração própria

Deste modo, tem-se que em um mês todos os modais do SPPO pertencentes ao município do Rio de Janeiro consomem 31.192.852 litros de diesel B10, o que corresponde a afirmar que em um mês 3.119.285,2 litros de biodiesel puro (B100) são consumidos por este sistema, uma vez que este valor corresponde a 10% do volume total de diesel utilizado mensalmente pela cidade.

Assim, temos que a passagem da concentração B10 para B20 aplicada ao município do Rio de Janeiro corresponderia a um acréscimo de 3.119.285,2 litros de biodiesel puro (uma vez que se dobraria a concentração), totalizando assim 6.238.570,4 litros de B100 mensais.

5.1.6 Custo da Neutralização de Carbono Associada ao B20

Além dos potenciais benefícios locais ligados à melhoria das condições do ambiente urbano e saúde, advindas da adoção do B20, esta iniciativa proporciona ainda ganhos na redução de emissões de gases de efeito estufa (GHG). O adiantamento da implantação do diesel B20 na frota de ônibus da Cidade do Rio de Janeiro previamente ao cronograma do Programa Brasileiro de Biodiesel implica num aumento na quantidade de emissões evitadas de GHG. Considere-se que a utilização do B20 reduz as emissões destes gases em 7,2% adicionais ao B10 (MAPA, 2015). Esta redução equivale a menos 228,78 g de CO₂ equivalente pelo consumo de B20 no lugar do B10.

De acordo com os cálculos, podemos estimar que seriam evitadas emissões adicionais da ordem de 7.136 toneladas de CO₂ equivalente por mês ou cerca de 1

milhão de toneladas de CO₂ equivalente no período até 2030, data de adoção do B20 ao nível nacional. Caso o município precisasse, por demanda legal ou acordo internacional, compensar tal quantidade de emissões sem acelerar a adoção do B20, deveria procurar esta mesma quantidade em projetos que propiciassem a mesma redução. Esta compensação poderia ser obtida pela aquisição de créditos de carbono no exterior, em mercados líquidos como na Europa ou Estados Unidos. O comportamento destes mercados é ainda volátil e com poucos participantes⁴, contudo podemos observar cotações que variam de 15 a 25 euro por tonelada de CO₂ nos últimos 12 meses.

Desta forma podemos estimar que este 1 milhão de toneladas de CO₂ equivalente de emissões adicionais evitadas no período até 2030, estariam propiciando uma redução de custo de € 15 a 26 milhões ou R\$ 68 a 114 milhões, à taxa de câmbio de maio de 2019. Podemos, por conseguinte, calcular um ganho ou redução de custo da ordem de 1,5 a 2,5 centavos de Real por volume de B20 oriundo desta medida.

5.1.7 Correlação dos impactos tarifários ocasionados pela adoção do B20 e créditos de carbono

Conforme se buscou identificar ao longo do presente capítulo, os custos de transição da concentração de B10 para o B20 correspondem a uma soma entre os custos de produção (aumento de R\$ 0,027/L), logística (aumento de R\$ 0,001/L) e depreciação (aumento de R\$ 0,007/L). Deste modo, calcula-se que ao se adotar a transição para o B20 haveria um aumento de custo do diesel de cerca de R\$ 0,035/L.

Em contrapartida o custo relacionado à compra de créditos de carbono necessários para neutralizar a poluição do ar causada pela atual concentração de B10 (em comparação com a de B20) corresponde a um impacto no custo do combustível de R\$ 0,015 a 0,025/L. Deste modo, é possível concluir que o custo de neutralização do carbono via aquisição de créditos de carbono é menos custoso do que a passagem do B10 para o B20. Entretanto, deve-se enfatizar que os preços atualmente praticados nos mercados de créditos de carbono subestimam fortemente os custos sociais das emissões de gases de efeito estufa (RICKE *et al.*, 2018).

4 <https://www.eex.com/en/market-data/environmental-markets/auction-market/european-emission-allowances-auction#!/2019/05/08>

5.1.8 Valoração dos impactos na saúde associados à adoção do B20

Inicialmente cabe explicitar a metodologia sobre a qual a valoração econômica dos impactos sobre o setor de saúde municipal se estabelece. Cumpre esclarecer que não constitui tarefa simples traduzir os danos ocasionados à vida e a saúde humana em custos econômicos dado o valor inestimável destes conceitos, o que poderia tornar esta conversão objeto de um entrave ético insanável. No entanto, é possível estimar os custos destes impactos sobre a saúde do indivíduo sobre a sociedade, uma vez que uma perda de sua produtividade e/ou sua participação sobre o mercado de bens e serviços incorre em uma alteração sobre os índices econômicos locais. Têm-se, deste modo, que a metodologia aplicada não busca atribuir um custo sobre a vida humana, mas tão somente calcular o quanto a perda de um indivíduo (ou o impacto sobre a sua saúde) representa sob o ponto de vista da circulação de bens e serviços.

Deste modo, buscou-se identificar estes custos a partir de duas perspectivas principais: a mortalidade, ou seja, a taxa de óbitos atribuídas a determinada causa e a morbidade, sendo a taxa de problemas sobre a saúde atribuídos a uma determinada causa que provocam malefícios sobre a saúde humana.

De acordo com (THE WORLD BANK, 2016), a poluição do ar é o risco ambiental que mais compromete a saúde humana, tendo atingido em 2013 o primeiro lugar na posição de riscos ambientais (ultrapassando os riscos causados por água insalubre e transmitidos por demais vetores) e quarto lugar na categoria de riscos modificáveis sobre a mortalidade via doenças crônicas não transmissíveis. Neste mesmo ano o ar poluído foi classificado como substância cancerígena, sendo o material particulado (MP) incluído nesta lista pela Agência Internacional de Pesquisa em Câncer (IARC, 2013), tendo em 2018 a Organização Pan-Americana da Saúde (OPAS; OMS Brasil, 2018) divulgado que a poluição do ar é responsável por 51.000 mortes no Brasil anualmente. De acordo com esta organização, 94% das mortes se devem à doenças não transmissíveis, em especial doenças cardiovasculares, acidentes vasculares cerebrais, doenças pulmonares obstrutivas crônicas e câncer de pulmão, sendo no Brasil a poluição do ar responsável por 35% das mortes por doenças respiratórias, 15% das doenças cerebrovasculares, 44% das doenças do coração e 6% do câncer de pulmão (OPAS; OMS BRASIL, 2016).

Dentre os diversos poluentes tóxicos emitidos pela operação do SPPO na cidade do Rio de Janeiro, cinco são oficialmente são monitorados: dióxido de enxofre;

material particulado; monóxido de carbono, ozônio e dióxido de nitrogênio, foi então selecionado para compor as análises do presente estudo o material particulado fino por constituir o elemento mais perigoso à saúde humana entre os demais. Este poluente é a combinação de diversos componentes com características físicas e químicas lançadas sobre o ar quando da queima do diesel. De acordo com OMS (2006), o pequeno diâmetro aerodinâmico deste poluente faz não somente com que ela permaneça suspensa no ar por um longo período, como também seja conduzida ao nível mais profundo do sistema respiratório quando inalada, resultando nas doenças acima descritas. Deste modo, identifica-se como MP_{10} estas partículas cujo diâmetro aerodinâmico seja menor ou igual a $10\ \mu\text{m}$, e como $MP_{2,5}$, as partículas inaláveis finas, menores ou iguais a $2,5\ \mu\text{m}$. Tem-se, portanto, que no MP_{10} estão contidas a fração fina, representada pelo $MP_{2,5}$ e a fração grossa, representada por $MP_{(10-2,5)}$.

Conforme se apontou na seção 5 desta dissertação, adotou-se neste estudo o material particulado fino como marcador ambiental dos incidentes sobre a saúde humana (sem prejuízo aos estudos que venham a complementar a identificação dos impactos gerados pelos demais poluentes) por constituir o principal marcador selecionado pela literatura nacional e internacional ao se produzir estudos sobre o tema (SALDIVA et al. 2018; OMS, 2006), bem como pela oportunidade de se ter acesso aos relatórios gerados por uma estação de monitoramento de qualidade do ar na cidade do Rio de Janeiro, que identifica especificamente as concentrações de material particulado fino sobre a cidade e tornam os dados mais confiáveis, dado que não se torna necessário recorrer a aproximações estatísticas que calculam a participação do $MP_{2,5}$ sobre o MP_{10} , conforme estabelecido por CETESB (2016) e utilizado sobre a maioria dos estudos nacionais a respeito do tema.

Após a identificação da concentração média total do material particulado fino sobre o município, passa-se ao cálculo da quantidade deste poluente que é emitida especificamente pelo SPPO, ao que se recorreu aos dados oficiais disponibilizados pela Secretaria Municipal do Meio Ambiente (SMAC) e pela literatura especializada, conforme se demonstrará abaixo.

Inicialmente identificou-se o valor máximo atribuído à concentração do poluente em estudo estabelecido como tolerável pela saúde humana, que de acordo com OMS (2006) e CETESB (2018) corresponde a $10\ \mu\text{g}/\text{m}^3$. Em seguida comparou-se este valor à média diária anual referente ao município do Rio de Janeiro, que é $17,3\ \mu\text{g}/\text{m}^3$, o que resulta em um excesso de $7,3\ \mu\text{g}/\text{m}^3$. Conclui-se, portanto, que existe uma

concentração excedente de $7,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ incidente sobre o município resultante de todas as fontes de emissão (e não somente o SPPO) cujo impacto está diretamente associado a efeitos nocivos sobre a saúde humana. Passou-se então ao cálculo do total deste impacto a partir de todas as fontes sobre a perspectiva da mortalidade e morbidade, para em seguida se calcular os impactos gerados especificamente sobre o modelo atual do SPPO e compará-lo com seus possíveis modelos sustentáveis (B20, Gás Natural e Eletricidade). Cumpre esclarecer que o cálculo do impacto desta concentração de material particulado fino emitida a partir de todas as fontes se utiliza das fontes de dados mais recentes e precisas sobre o município (disponíveis a partir de 2012) e possui o potencial de se desdobrar em outros estudos para além das aplicações sobre transportes urbanos no município, uma vez que pode ser contraposto a outros setores que também emitem poluição atmosférica, como a indústria e geração de energia.

Para proceder a este cálculo, seguiram-se as indicações da OMS (2007) a respeito das enfermidades diretamente associadas à exposição ao material particulado fino, contidas entre os capítulos I e XVI da Classificação Estatística Internacional de Doenças e Problemas Relacionados à Saúde (Mortes por causas naturais – óbitos gerais exceto as causas externas e as malformações), sintetizadas por SALDIVA et al. (2018) na tabela abaixo em associação aos seus desfechos e faixa etária preferencial de incidência:

Quadro 7- Desfechos mórbidos a serem considerados na avaliação do impacto da poluição atmosférica na saúde, por faixas etárias de interesse

Faixa Etária	Desfechos	Grupo CID-10 e Observações
0 a 4 anos	Respiratório	Pneumonia (Doença cardiovascular é evento raro)
Mais de 40 anos	Neoplasias	Neoplasia de brônquios, traqueia e pulmão
40 a 59 anos	Respiratório e Cardiovascular	Bronquite, enfisema e outras doenças pulmonares obstrutivas crônicas (DPOC), acidente vascular cerebral, infarto agudo do miocárdio, infarto e hemorragia cerebral, outras doenças isquêmicas do coração
60 a 69 anos	Respiratório e Cardiovascular	O mesmo acima
Mais de 69 anos	Respiratório e Cardiovascular	O mesmo acima

Fonte: Saldiva et al. (2018)

Em seguida foram identificados pela literatura especializada (ANDERSON et al., 2003; CANÇADO et al., 2006; GOUVEIA et al., 2006; MARTINS et al., 2006, ULIRSCH et al., 2007; HAMRA et al., 2014) os eventos atribuíveis à poluição atmosférica (MP₁₀) para cada faixa etária e desfecho, adaptando os resultados encontrados ao material particulado fino, dado que a literatura aferiu sua incidência a partir do MP₁₀, e não do MP_{2,5}. Deste modo, seguiram-se as indicações de CETESB (2017) e OMS (2006) para que se calculasse um percentual de 60% da incidência de MP_{2,5} sobre o total de MP₁₀, o que resultou em coeficientes específicos para cada tipo de morbidade, conforme descrito abaixo:

Tabela 23- Coeficientes de regressão adotados para o cálculo de risco de morbidade para exposição a material particulado inalável fino, MP_{2.5}, a partir dos estudos selecionados e considerando a relação entre MP^{2.5} e MP₁₀ de 60%

Faixa Etária	Respiratório	Cardiovascular	Câncer
0 a 4 anos	0,00395	0	0
Mais de 40 anos	0,00205	0,00133	0
40 a 59 anos	0	0	0,0086
60 a 69 anos	0,00363	0,00198	0
Mais de 69 anos	0,0105	0,00228	

Fonte: Saldiva et al. (2018)

Para o cálculo do impacto do material particulado fino na saúde da população da cidade do Rio de Janeiro, utilizou-se a metodologia adotada por SALDIVA et al (2018), a qual se baseia em recomendações da *Environmental Burden of Disease* (Ostro, 2014) e se utiliza de uma regressão de Poisson (Rothman KJ e Greenland S, 1998), que utiliza os coeficientes apresentados na tabela acima e os desenvolve na seguinte equação:

$$RR = \exp [\beta (X - X_0)]$$

Na qual RR é o risco relativo de um determinado tipo de desfecho;

β é o coeficiente da regressão;

X é a concentração atmosférica atual do poluente, em $\mu\text{g}/\text{m}^3$;

X_0 é a concentração atmosférica basal ou de referência, em $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Para o cálculo da incidência de mortalidade, os autores recomendam a utilização

do coeficiente (0,00583), que aplicado sobre os dados da cidade do Rio de Janeiro gera os seguintes resultados:

$$RR = \exp [0,00583 (17,23 - 10)]$$

$$RR = 2,718^{0,0421509}$$

$$RR = 1,043$$

Calculado o Risco Relativo (RR) para os despechos previstos, passa-se ao cálculo da fração atribuível (ou fração de impacto) do efeito sobre a saúde decorrente da exposição ao material particulado fino, dado pela fórmula abaixo:

$$FA = (RR - 1) / RR$$

Utilizando os dados obtidos para a cidade do Rio de Janeiro, temos que:

$$FA = (1,043 - 1) / 1,43$$

$$FA = 0,041$$

Deste modo, o número esperado de eventos de morbidade ou mortalidade da exposição ao poluente em estudo pode ser expresso pela seguinte equação:

$$E = FA \times B \times P$$

Onde E é o número esperado de eventos em saúde devido à exposição ambiental

FA é a fração atribuível ou fração de impacto

B é a taxa de incidência populacional do efeito em saúde em estudo

P é a população total exposta para o efeito em saúde

Podendo o produto das variáveis (B) e (P) ser substituído pela pelo número total dos despechos em saúde no estudo, caso disponível. Optou-se por utilizar os dados fornecidos pelo sistema DATASUS, o qual informa que a incidência total para enfermidades constantes nos capítulos I a XVI da CID-10 para o ano de 2017 (último período disponibilizado) foi de 5.5087, que aplicada no modelo acima descrito gera o seguinte resultado:

$$E = 0,041 \times 55087$$

$E = 2.258,567$

Deste modo, é possível identificar que no ano de 2017 foram registrados 2.258 óbitos na cidade do Rio de Janeiro atribuíveis à exposição prolongada ao material particulado fino (MP2,5), por todas as fontes. Cumpre esclarecer que este resultado se coaduna com os encontrados por SALDIVA *et al.* (2018), que identificaram um total de 6.823 óbitos no período para toda a Região Metropolitana do Rio de Janeiro, contendo mais dezoito municípios e 53% do restante da população (dados do censo de 2010, produzido pelo IBGE).

Para identificar o custo econômico devido à mortalidade ocasionada pela exposição humana continuada ao material particulado fino no município do Rio de Janeiro, se aplicará a desenvolvida em SEROA DA MOTTA *et al.* (2000), na qual se assume que o Valor Estatístico da Vida (VEV) é igual ao montante do Valor Presente da Produção Futura de um indivíduo.

Deste modo, é possível calcular a produtividade anual perdida devido aos casos de óbito gerados pela exposição ao material particulado fino proveniente de todas as fontes presentes no município ao se utilizar os dados disponibilizados pelo DATASUS (2017) a respeito dos óbitos relativos aos capítulos I ao XVI do CID-10 e descontá-los proporcionalmente pela quantidade de óbitos estimada pela regressão exposta acima, de acordo com a faixa etária incidente sobre cada caso, obtendo-se uma média entre óbitos totais e óbitos associados de 0,041%.

Aplicando-se este percentual a cada faixa etária, foi possível identificar a quantidade de óbitos relativa a cada uma destas, o que permitiu se obter os anos perdidos de vida para cada caso de mortalidade precoce ao se descontar a idade em que ocorreu da expectativa de vida destas faixas, disponibilizada pelo IBGE. Para o cálculo do total da produção sacrificada pela ocasião destes óbitos precoces, aplicou-se o método da produção sacrificada descrito em (ZIVIN & NEIDELL, 2013; NARAI & SALL, 2016), multiplicando-se a produtividade média do trabalho para as faixas etárias a partir de 14 anos (IBGE, 2017; SALDIVA *et al.* 2018) no município por doze (encontrando o rendimento total de um ano de trabalho, referente a R\$ 11.244,00) pelo total de casos diretamente identificados de acordo com a expectativa de vida de cada faixa, de acordo com a fórmula e tabela abaixo:

$$PS = (EV - FE) \times C \times PT \times 12$$

Onde:

PS: Produção Sacrificada

EV: Expectativa de Vida

FE: Faixa Etária

C: Casos Atribuídos

PT: Produtividade do Trabalho

Tabela 24- Produção sacrificada resultante de todas as fontes de poluição na cidade do Rio de Janeiro

Faixa Etária	Casos de mortalidade associados	Expectativa de vida	Anos de vida perdidos	Valor estimado da produção sacrificada
Menor de 1 ano	31,775	76	2414,9	Não se aplica
1 a 4 anos	7,093	74,6	529,1378	Não se aplica
5 a 9 anos	3,28	70,24	230,3872	Não se aplica
10 a 14 anos	4,059	66,3	269,1117	Não se aplica
15 a 19 anos	7,38	60,48	446,3424	5018673,95
20 a 29 anos	30,381	54,45	1654,24545	R\$ 18.600.335,84
30 a 39 anos	61,213	44,34	2714,18442	R\$ 30.518.289,62
40 a 49 anos	118,162	35,3	4171,1186	R\$ 46.900.057,54
50 a 59 anos	629,329	26,82	16878,60378	R\$ 189.783.020,90
60 a 69 anos	455,223	19,03	8690,20707	R\$ 97.712.688,30
70 a 79 anos	499,241	12,52	6250,49732	R\$ 70.280.591,87
80 anos ou mais	765,347	9,6	7347,3312	R\$ 82.613.392,01
Idade ignorada	5,904	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Total	2618,387	Não se aplica	51596,06694	R\$ 541.427.050,02

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2020)

É possível, portanto, estimar que a poluição relativa à emissão de material

particulado fino gera perda de produtividade na ordem de R\$ 541.427,050,02 para o município do Rio de Janeiro decorrente de todas as fontes de emissão, tendo em vista os anos de vida perdidos pela população afetada pela mortalidade gerada por este poluente, que a retira do mercado produtivo.

Além dos custos associados à perda da produtividade ocasionada por óbitos precoces, também é pertinente calcular os custos em saúde custeados pelo poder público decorrentes dos casos de internações ocasionadas pela geração de doenças associadas ao material particulado fino no município – cabendo esclarecer que este cálculo subestima o custo total em morbidade pois este também contém despesas como aquisição de medicamentos e consultas médicas. De acordo com SALDIVA *et al.* (2018) o cálculo do custo associado à morbidade relacionada à exposição humana ao material particulado fino segue a regressão baseada na fórmula epidemiológica proposta por OSTRO (2014), ajustando-se os coeficientes de incidência de modo a corresponderem ao índice de exposição experimentado por cada faixa etária ao poluente, de acordo com a tabela 23. Deste modo, aplicaram-se estes coeficientes na fórmula associados aos casos totais de incidência registrados por DATASUS (2017), sobre as morbidades relativas aos capítulos I a XVI do CID-10 a uma taxa de concentração de poluição ($X - X_0$) de 7,23, conforme sintetizado na tabela abaixo:

Tabela 25- Morbidade resultante de todas as fontes de poluição na cidade do Rio de Janeiro

População			
Faixa Etária	Respiratório	Cardiovascular	Câncer
0 a 4	22.286	Não se aplica	Não se aplica
40 a 59	46.412	46.412	Não se aplica
Mais de 40	Não se aplica	Não se aplica	104.277
60 a 69	28.592	28.592	Não se aplica
Mais de 69	29.273	29.273	Não se aplica
Coefficientes			
Faixa Etária	Respiratório	Cardiovascular	Câncer
0 a 4	0,00395	Não se aplica	Não se aplica
40 a 59	0,00205	0,00133	Não se aplica
Mais de 40	Não se aplica	Não se aplica	0,00862
60 a 69	0,00363	0,00198	Não se aplica
Mais de 69	0,0105	0,00228	Não se aplica
Custo de morbidade todas as fontes			
Faixa Etária	Respiratório	Cardiovascular	Câncer
0 a 4	R\$ 892.752,47	Não se aplica	Não se aplica

40 a 59	R\$ 967.701,00	R\$ 393.727,80	Não se aplica
Mais de 40	Não se aplica	Não se aplica	R\$ 8.952.447,40
60 a 69	R\$ 12.117.435,00	R\$ 585.616,80	Não se aplica
Mais de 69	R\$ 1.047.571,80	R\$ 678.007,80	Não se aplica
Total	R\$ 25.635.260,07		

Fonte: Elaboração própria a partir de SALDIVA et al.(2018) e DATASUS (2017)

Deste modo, temos que o custo em morbidade hospitalar no município financiado pelo poder público em termos de internações hospitalares corresponde a R\$ 25.635.260,07 anuais, referente à emissão de material particulado fino por todas as fontes do município, que somados aos R\$ 541.427.050,02 encontrados sobre os custos associados à perda de produtividade pela mortalidade, configuram um custo total de R\$ 567.062.310,27 sobre todas as fontes de emissão deste poluente presentes no município.

Para o cálculo da participação da frota de ônibus urbanos no município do Rio de Janeiro sobre o total de material particulado fino emitido, recorreu-se ao estudo desenvolvido por CETESB (2017), dado que constitui o único inventário detalhado e atualizado entre as agências ambientais brasileiras a respeito da poluição do ar. Além de constituir o modelo de previsão de participação da frota sobre a poluição mais atual entre a literatura, este estudo possui a vantagem de ter se constituído a partir dos dados individuais de potencial de poluição de cada modal de transporte rodoviário presente sobre as cidades, além de ter sido adaptado por SALDIVA et al. (2018) para a participação específica do ($MP_{2,5}$), gerando um resultado de 12,29%, considerado desprezível o aporte de aerossóis provenientes da ressuspensão da poeira de rua, uma vez que não foi considerado significativo.

Ao aplicar o percentual de 12,29% sobre todo o ($MP_{2,5}$) da cidade do Rio de Janeiro, encontra-se a concentração de $2,12 \mu\text{g}/\text{m}^3$, que aplicada ao modelo epidemiológico desenvolvido acima resulta em um total de 672 casos de mortalidade atribuível, conforme demonstra a memória de cálculo abaixo:

$$RR = \exp [\beta (X - X_0)]$$

$$RR = \exp [0,00583 (2,12)]$$

$$RR = 1,0124$$

$$FA = (1,0124 - 1) / 1,0124$$

$$FA = 0,0122$$

$$E = 0,0122 \times 55087$$

$$E = 672,0614$$

Conclui-se, portanto, que do total de 2.258 casos de mortalidade ocasionados por exposição ao material particulado fino no município, 672 se deveriam às emissões ocasionadas pela frota de transporte público municipal, ao que se passará à sua valoração a partir da perda de produtividade do trabalho assalariado ocasionado pela morte precoce por faixa etária.

Tabela 26- Produção sacrificada resultante das emissões do SPPO na cidade do Rio de Janeiro

Faixa Etária	Casos de mortalidade associados	Expectativa de vida	Anos de vida perdidos	Valor estimado da produção sacrificada
Menor 1 ano	9,4541	76	718,5116	Não se aplica
1 a 4 anos	2,1104	74,6	157,43584	Não se aplica
5 a 9 anos	0,9759	70,24	68,547216	Não se aplica
10 a 14 anos	1,2076	66,3	80,06388	Não se aplica
15 a 19 anos	2,1957	60,48	132,7959	R\$1.493.157,50
20 a 29 anos	9,0393	54,45	492,189885	R\$5.534.183,07
30 a 39 anos	18,2129	44,34	807,559986	R\$9.080.204,48
40 a 49 anos	35,1571	35,3	1241,04563	R\$13.954.317,06
50 a 59 anos	80,1344	26,82	2149,204608	R\$24.165.656,61
60 a 69 anos	135,4442	19,09	2585,629778	R\$29.072.821,22
70 a 79 anos	148,5946	12,52	1860,404392	R\$20.918.386,98
80 anos e mais	227,7166	9,6	2186,07936	R\$24.580.276,32
Idade ignorada	1,7566	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Total	671,9994	Não se aplica	12479,46811	R\$128.799.003,26

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2020)

Estima-se, deste modo, que a poluição do ar produzida pelo SPPO na cidade do Rio de Janeiro gera anualmente uma perda de produtividade avaliada em R\$ 128.799,003,26. Quanto a avaliação sobre os impactos em morbidade, empregou-se o modelo utilizado para o cálculo sobre todas as fontes, ajustando o $(X - X_0)$ para 2,12, que é o valor correspondente à concentração de material particulado emitida especificamente sobre o SPPO, cujos resultados estão sintetizados na tabela abaixo:

Tabela 27- Morbidade resultante das emissões do SPPO na cidade do Rio de Janeiro

POPULAÇÃO			
Faixa Etária	Respiratório	Cardiovascular	Câncer
0 a 4	22.286	Não se aplica	Não se aplica
40 a 59	46.412	46.412	Não se aplica
Mais de 40	Não se aplica	Não se aplica	
60 a 69	28.592	28.592	Não se aplica
Mais de 69	29.273	29.273	Não se aplica
Coefficientes			
Faixa Etária	Respiratório	Cardiovascular	Câncer
0 a 4	0,00395	Não se aplica	Não se aplica
40 a 59	0,00205	0,00133	Não se aplica
Mais de 40	Não se aplica	Não se aplica	0,00862
60 a 69	0,00363	0,00198	Não se aplica
Mais de 69	0,0105	0,00228	Não se aplica
CUSTO EM MORBIDADE SPPO			
Faixa Etária	Respiratório	Cardiovascular	Câncer
0 a 4	R\$278.594,40	Não se aplica	Não se aplica
40 a 59	R\$283.711,40	R\$184.782,00	Não se aplica
Mais de 40	Não se aplica	Não se aplica	2.682.181,80
60 a 69	R\$312.708,00	R\$170.560,00	Não se aplica
Mais de 69	R\$9.153.816,00	R\$198.996,00	Não se aplica
Total	R\$13.265.349,60		

Fonte: Elaboração própria a partir de SALDIVA et al.(2018) e DATASUS (2017)

Tem-se, deste modo, que os custos relacionados a internações hospitalares municipais financiados pelo poder público correspondentes ao SPPO correspondem anualmente a R\$ 13.265.349,60, que somados aos R\$ 128.799.003,26 relativos à perda de produtividade geram um custo anual de R\$ 142.064.352,86.

Em seguida buscou-se estimar o impacto sobre o setor de saúde municipal a partir da implantação do B20, utilizando como marcador ambiental o material particulado fino. Para tanto, utilizou-se os estudos de MAPA (2015), que indicam que a

implementação do B20 reduz em 11% as emissões de material particulado (MP₁₀), ou seja, 6,6% de (MP_{2,5}) de acordo com CETESB (2016). Deste modo, desconta-se este percentual da concentração de 2,12µg/m³ atribuída ao SPPO, resultando em 1,98008 µg/m³ – adotando-se neste caso como a variável (X-X₀), que ao ser aplicada na fórmula para o cálculo de mortalidade segundo os coeficientes de incidências de doenças próprios de cada faixa etária resultam nos dados expressos na tabela abaixo:

Tabela 28- Mortalidade resultante das emissões do SPPO na cidade do Rio de Janeiro

POPULAÇÃO			
Faixa Etária	Respiratório	Cardiovascular	Câncer
0 a 4	22286	Não de aplica	Não de aplica
40 a 59	46412	46412	Não de aplica
Mais de 40	Não de aplica	Não de aplica	104277
60 a 69	28592	28592	Não de aplica
Mais de 69	29273	29273	Não de aplica
COEFICIENTES			
Faixa Etária	Respiratório	Cardiovascular	Câncer
0 a 4	0,00395	Não de aplica	Não de aplica
40 a 59	0,00205	0,00133	Não de aplica
Mais de 40	Não de aplica	Não de aplica	0,00862
60 a 69	0,00363	0,00198	Não de aplica
Mais de 69	0,0105	0,00228	Não de aplica
CUSTO DE MORBIDADE B20			
Faixa Etária	Respiratório	Cardiovascular	Câncer
0 a 4	247323	Não de aplica	Não de aplica
40 a 59	270066	170568	Não de aplica
Mais de 40	Não de aplica	Não de aplica	2474657,4
60 a 69	297387	159196,8	Não de aplica
Mais de 69	857104	187624,8	Não de aplica
Total	R\$ 4.663.927,00		

Fonte: Elaboração própria a partir de SALDIVA et al.(2018) e DATASUS (2017)

Tem-se, portanto, que a implantação do B20 implicaria em um custo de morbidade relativo a R\$ 4.663.927,00, que somados ao custo de mortalidade associado resulta em R\$ 116.152.512,35, representando uma economia de R\$ 21.247.913,51 em custos sobre a saúde públicas evitáveis experimentados sobre o atual cenário de ônibus contendo 10% de biocombustíveis na cidade.

5.1.9 Considerações

Ao longo do capítulo buscou-se desenvolver uma metodologia para o cálculo do custo de se elevar a concentração de biodiesel, dos atuais 10% para 20% do diesel total consumido pelas frotas de ônibus urbanos, conforme estabelecido por decreto municipal do Rio de Janeiro em 2018. Para tanto, se identificou a alteração dos custos de produção, logísticos e de depreciação desta conversão, bem como o seu impacto na atual tarifa de transportes. Adicionalmente, realizou-se uma estimativa dos custos relacionados a uma solução que provocasse os mesmos benefícios sobre o meio ambiente (neutralização de gases de efeito estufa), bem como o seu impacto tarifário sobre as passagens de ônibus do município. Ao se comparar ambos os custos, foi possível identificar que a adoção do modelo B20 poderia implicar em um aumento dos custos de combustível em aproximadamente R\$ 0,035/L, ao passo que a compra dos créditos de carbono correspondentes implicaria em um custo de R\$ 0,015 a 0,025/L.

Deste modo, argumenta-se que a adoção da transferência de concentrações de biodiesel, apesar de seu custo adicional não ser compensado pela redução de emissões de gases de efeito estufa nos preços atuais de mercado, tem grande parte de seu custo de adoção (74%) coberto por estes créditos.

Adicionalmente foi estimado um custo sobre a perda de produtividade local associado à mortalidade e sobre o setor de saúde (utilizando como marcador o custo em internações hospitalares na rede pública) associado à morbidade produzida pela emissão de poluentes resultante da diferença (B20 – B10) em R\$ 21.247.913,51. Não se buscou estimar os impactos tarifários sobre este custo, uma vez que o contrato de concessão em curso não estabelece parâmetros de reajuste ou revisão tarifária referentes às externalidades negativas provocadas pelo SPPO sobre o setor de saúde pública, não sendo portanto a fórmula paramétrica de reajuste ou os critérios contratuais de revisão tarifária marcadores pertinentes para sustentar tal análise. No entanto, o volume do custo associado a este fator sugere que a transição para o modelo B20 pode se mostrar ainda menos custosa aos cofres públicos caso a valoração desta externalidade venha a se absorvida pelo sistema de transportes urbanos por ônibus em um modelo que considere os impactos sobre a saúde pública – podendo este valor ser anualmente computado pela fórmula de reajuste tarifário ou utilizado como amortizador de demais custos de conversão não considerados pelo

presente estudo.

5.2 Gás Natural

A análise empreendida para verificação do custo-benefício de adoção do gás natural em substituição ao atual modelo pautado no consumo de diesel sobre os ônibus urbanos do município se utilizará do modelo desenvolvido por SALDIVA *et al.* (2018), também utilizado sobre o biocombustível e os ônibus elétricos, cujo objetivo é relacionar a emissão evitada de material particulado resultante de tal medida e seus efeitos econômicos associados. Adicionalmente se aplicará sobre o resultado encontrado o custo de neutralização de carbono equivalente às emissões de CO₂ não realizadas em virtude da adoção do gás natural sobre os ônibus urbanos do município; Espera-se que o resultado da aplicação associada destas duas metodologias seja uma avaliação do custo-benefício econômico de tal medida, levando-se em consideração custo evitado relativo às emissões dos dois principais poluentes resultantes da combustão do diesel: gás carbônico e material particulado.

Para o cálculo do impacto econômico da redução de material particulado proveniente de uma transição do SPPO operante no Rio de Janeiro entre diesel e um modelo movido a gás, utilizou-se como parâmetros de transição os atuais motores a diesel utilizados por ônibus intraurbanos no Brasil e autorizados pela fase P7 do PROCONVE, correspondente ao EURO V e os motores GNV EURO VI. Seguindo estes modelos, SCANIA (2019) e SALDIVA *et al.* (2018) demonstram que a redução de emissão de material particulado fino é de 10,67%, conforme ilustram as tabelas abaixo:

Tabela 29- Fatores de emissão para motorizações Diesel Euro V e GNV Euro VI

Emissões	MP (g/kWh)
Diesel EURO V	0,03
Motor SCANIA a Gás	0,0032
Relação SCANIA a Gás vs Diesel E5	-89%

Fonte: Adaptado de SCANIA (2019)

Relações entre normas de emissão	Fator de Emissão
Relação de emissão GNV EuroVI para Diesel Euro V	10,67% (0,0032÷0,03)

Relação GNV EuroVI para Diesel Euro VI	32,00% (0,0032÷0,01)
Relação de emissão gás/leve	10,00%

Fonte: SALDIVA et al. 2018

5.2.1 Valoração dos impactos na saúde associados à adoção do gás natural

A partir da redução relativa Diesel/ Gás Natural calculada em 10,67%, é possível avaliar este impacto sobre a emissão total do SPPO na cidade do Rio de Janeiro, que passaria de 2,12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (cenário basal) para 1,893796 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (cenário gás natural) ao se aplicar 10,67% sobre o total da concentração e subtrair este montante do cenário basal, obtendo-se portanto o potencial de redução relacionado ao gás natural.

Aplicando-se estas variáveis sobre o modelo de previsão sobre a produção sacrificada, temos que anualmente R\$ 111.825.769,59 são perdidos em produção local no município do Rio de Janeiro devido à exposição humana ao material particulado emitido por seus ônibus intramunicipais, conforme demonstra tabela abaixo:

Tabela 30- Produção sacrificada resultante das emissões do SPPO na cidade do Rio de Janeiro no caso da adoção do gás natural

Faixa Etária (anos)	Casos de mortalidade associados	Expectativa de vida	Anos de vida perdidos	Valor estimado da produção sacrificada
Menor 1	8,5118	76	646,8968	Não se aplica
1 a 4	1,9	74,6	141,74	Não se aplica
5 a 9	0,8786	70,24	61,712864	Não se aplica
10 a 14	1,08731	66,3	72,088653	Não se aplica
15 a 19	1,7969	60,48	119,562912	R\$1.344.365,38
20 a 29	1,3838	54,45	75,34791	R\$847.211,90
30 a 39	16,3975	44,34	727,06515	R\$8.175.120,55
40 a 49	31,6529	35,3	1117,34737	R\$12.563.453,83
50 a 59	72,1471	26,82	1934,98522	R\$21.756.973,84
60 a 69	121,9439	19,09	2327,909051	R\$26.175.973,84
70 a 79	133,7836	12,52	1674,970672	R\$18.833.370,24
80 ou mais	205,0192	9,6	1968,18432	22.130.264,49
Idade ignorada	1,5815	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Total	598,26411	Não se aplica	18867,81092	R\$111.825.769,59

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2020)

Quanto ao custo em saúde pública ocasionado por internações hospitalares

causadas pela exposição ao mesmo poluente, temos que R\$ 11.857.381,80 são despendidos localmente para o tratamento das enfermidades associadas à inalação deste poluente, conforme demonstra tabela abaixo:

Tabela 31- Morbidade evitada resultante das emissões do SPPO na cidade do Rio de Janeiro no caso da adoção do gás natural

COEFICIENTES			
Faixa Etária	Respiratório	Cardiovascular	Câncer
0 a 4	0,00395	Não se aplica	Não se aplica
40 a 59	0,00205	0,00133	Não se aplica
Mais de 40	Não se aplica	Não se aplica	0,00862
60 a 69	0,00363	0,00198	Não se aplica
Mais de 60	0,0105	0,00228	Não se aplica
CUSTO DE MORBIDADE GÁS NATURAL			
Faixa Etária	Respiratório	Cardiovascular	Câncer
0 a 4	R\$234.531,00	Não se aplica	Não se aplica
Mais de 40	R\$257.273,00	R\$164.882,40	Não se aplica
40 a 59	Não se aplica	Não se aplica	R\$2.386.530,60
60 a 69	R\$280.015,80	R\$159.196,80	Não se aplica
Mais de 60	R\$8.195.792,40	R\$179.096,40	Não se aplica
Total	R\$11.857.318,80		

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2020)

Deste modo, temos que os custos evitáveis em saúde, compreendidos aqui como a soma da produção sacrificada e das despesas decorrentes de internações hospitalares, correspondem anualmente a R\$ 123.683.088,39. Em seguida será realizado o cálculo para se estimar o valor relativo aos créditos de carbono associados a poluição evitada pela adoção do gás natural na frota de ônibus urbanos do município, com o objetivo de somá-lo aos custos estimados em saúde e obter-se um montante do custo evitável trazido por esta transição.

5.2.2 Custo da neutralização de carbono associada à adoção do gás natural

Para de definir a quantidade de CO₂ a ser reduzida, adotou-se o modelo de CANCELLI e DIAS (2014), o gás natural possui um fator de emissão de 445 gramas de CO₂ por km, ao passo que o gás natural possui um fator de emissão de 286 gramas por km, representando portanto uma redução de 159 gramas de CO₂ a cada quilômetro percorrido. Trazendo estes coeficientes para o Percurso Médio mensal do SPPO, que é

de 9.400 km ao mês, temos que atualmente o sistema gera 4.183 toneladas de CO₂, ao passo que a conversão do sistema para o gás natural emitiria 2.688 do mesmo poluente, representando uma redução de 1.4946 toneladas de CO₂ ao mês. Utilizando-se os mesmos critérios de precificação e taxa de câmbio aplicados à valoração do crédito de carbono no mercado internacional, têm-se que a redução do poluente poderia representar uma receita anual entre R\$ 1.218,70 e R\$ 2.031,16 no mercado internacional ou R\$ 13.405,66 e R\$ 22.342,77 no período entre a adição obrigatória B10/ B20, a título de comparação.

5.2.3 Considerações

De acordo com dados fornecidos por MAC KNIGHT e YOUNG (2006), o custo de conversão de um ônibus movido a diesel para o gás natural se encontra no intervalo de R\$ 20.000,00 e R\$ 27.000,00 – cujo valor máximo será adotado neste estudo como margem de segurança. Pode-se então estimar que a conversão de toda a frota de ônibus municipais para o gás natural envolveria um custo de R\$ 184.896.000, os quais poderiam ser cobertos em um ano apenas com os custos evitáveis em saúde, resultando ainda em uma sobra de R\$ 61.212.921,00, que somada aos créditos de carbono comercializáveis se estabeleceria em um excedente entre R\$ 61.226.326,66 e R\$ 61.235.263,77 caso a medida fosse adotada no mesmo ano.

Torna-se importante ressaltar, ainda, que o Gás Natural não constitui fonte de energia sustentável *stricto sensu*, posto que deriva da exploração de recursos finitos e de origem fóssil. No entanto, tal categorização foi adotada nesta presente dissertação uma vez que suas vantagens ambientais relativas se mostram mais favoráveis que o diesel fóssil utilizado atualmente, como faz prova a análise valorativa desenvolvida nesta seção.

Dentre as alternativas sustentáveis selecionadas para compor a análise valorativa desta dissertação, o gás natural foi a que apresentou maiores dificuldades para aplicação no modelo. Tal problemática se deve ao fato de que as políticas públicas relacionadas a este setor foram extintas na esfera estadual, resultando em pouca aplicação em escala municipal e deixando baixíssimo acervo documental que permitisse análises mais elaboradas sobre a tecnologia – como a avaliação mais acurada de seus custos de implantação a partir de especificidades ambientais, econômicas e geográficas da cidade do Rio de Janeiro.

5.3 Veículos Elétricos

Os atuais estudos relacionados à implementação de ônibus elétricos na cidade do Rio de Janeiro se originaram a partir do Decreto Municipal RIO nº 46.081, de 11 de junho de 2019. Em seu segundo parágrafo do art. 1º, o poder executivo municipal declara a adesão da cidade do Rio de Janeiro a uma agenda de redução dos gases de efeito estufa por meio da eletrificação da frota de transportes públicos urbanos. Cumpre salientar que o decreto em questão explicita que o uso de tecnologias como o gás natural e os biocombustíveis não atendem ao almejado pela política, uma vez que não possuem a característica de neutralizar a totalidade dos gases de efeito estufa quando de sua operação. Deste modo, o documento prevê especificamente medidas para o desenvolvimento de um plano de eletrificação da frota de ônibus municipais, especificando que tal transição deverá ocorrer por meio de “veículos com célula de combustível de hidrogênio ou elétricos com bateria”.

O principal fator motivador para a instituição do decreto em discussão foi o compromisso firmado entre a Prefeitura do Rio de Janeiro e o Grupo C40 de Grandes Cidades para a Liderança Climática, denominado “Declaração das Ruas Verdes e Saudáveis”, cujos objetivos contemplam: a) aquisição de apenas ônibus zero emissões a partir de 2050 e b) conversão de um distrito da cidade em distrito zero emissões até 2030.

Em atendimento a Declaração e ao decreto 46.081/2019, foi criado em julho de 2019 na cidade do Rio de Janeiro um grupo de trabalho composto por técnicos da Casa Civil; Secretaria Municipal de Transportes; Rio Ônibus; Empresa de Pesquisa Energética (EPE); Ministério de Minas e Energia (MME); Grupo C40 de Grandes Cidades para a Liderança Climática (C40) e Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento (ITDP), tendo sido nomeado “Grupo de Trabalho *Zero Emission Bus Rapid-deployment Accelerator*” (GT ZEBRA).

Em atendimento ao determinado pelo Decreto, o GT ZEBRA preliminarmente identificou a modicidade dos custos relativos ao modelo de veículo elétrico com bateria em relação ao movido por células de hidrogênio, passando em seguida a modelar os custos financeiros da transição dos veículos movidos a diesel para os movidos a baterias elétricas com base na “Ferramenta para Avaliação Técnico-Econômica para

Ônibus Elétrico”, desenvolvida pela EPE em conjunto com o MME. Tendo em vista que a transição para um modelo de eletrificação da frota não constitui uma solução “*drop in*”, tornou-se necessária a identificação não só do custo de operação (OPEX), mas também do custo de aquisição dos veículos (CAPEX).

Tendo em vista este volume de investimentos necessário para a conclusão do projeto de eletrificação da frota, o grupo de trabalho estudou alterar o modelo de processo licitatório e gestão do contrato do SPPO para se adaptar a este empreendimento, gerando deste modo dois cenários: o primeiro no qual o atual modelo é mantido e a aquisição dos veículos se dá pelo concessionário operador do sistema (empresas de ônibus) e o segundo no qual a aquisição dos veículos é realizada pelo município, o qual se torna proprietário destes bens, cabendo aos consórcios operadores do sistema somente a gestão da frota, o recolhimento de um lucro acordado contratualmente e a amortização gradual dos custos assumidos pelo município quando da aquisição dos veículos elétricos. Adicionalmente um terceiro cenário foi cogitado no qual o município ofereceria um subsídio fiscal (ISS) ao operador como estímulo para que este procedesse à eletrificação dos veículos que atualmente são de sua propriedade, cenário este que foi descartado dada a impossibilidade de ser operacionalizado no modelo econômico desenvolvido pelo grupo de trabalho.

Deste modo, a presente seção busca apresentar o modelo desenvolvido pela EPE para modelagem financeira do projeto de eletrificação das frotas de ônibus municipais, para em seguida discorrer sobre os dois cenários desenvolvidos pelo grupo de trabalho a partir desta modelagem e, por fim, apresentar os resultados econômicos e ambientais valorados de uma implementação da eletrificação da frota, de modo a serem comparáveis com o projeto de implementação de biocombustíveis e gás natural enquanto alternativa sustentável para o transporte público por ônibus na cidade.

Inicialmente cumpre explicitar as bases e premissas adotadas para o modelo de análise de viabilidade de eletrificação da frota adotada pelo município do Rio de Janeiro. A primeira medida tomada para a construção do modelo foi identificar o custo unitário para a aquisição do ônibus elétrico. De acordo com os relatórios gerados, este custo depende, entre outros fatores, da dimensão do veículo, da presença ou não de climatização interna, capacidade de transporte de passageiros e capacidade de armazenamento da bateria, além do tamanho do lote de encomendas e do contrato a ser firmado com o fabricante, que poderiam gerar uma redução de custos baseado em uma economia de escala. O Ministério da Economia, Indústria, Comércio Exterior e

Serviços (2018) argumenta que é possível determinar um fator de proporção entre os custos dos veículos elétricos e seus correspondentes a diesel, enquanto a *California Air Resource Board* desenvolveu um modelo para este cálculo cujo resultado é o custo de 175% de um ônibus eletrificado (carregado na garagem ou na rota) em relação ao seu respectivo modelo movido a diesel, sendo este custo superior para ônibus articulados, devido a sua menor escala de produção e capacidade de sua bateria.

Deste modo, adotando uma margem de segurança e prevendo possíveis flutuações cambiais, o GT ZEBRA assumiu que os veículos elétricos comuns corresponderiam a 200% de um veículo a diesel (R\$ 900.000) e um veículo articulado corresponderia a 250% (R\$ 2.480.000), sendo este custo acrescido de suas respectivas baterias (R\$ 20.000) – considerando que este custo poderia ser reduzido caso se adotasse um modelo de gestão no qual um carregador fosse utilizado para mais de um ônibus. Adicionalmente se concluiu que a autonomia da bateria corresponderia entre 270 a 300 km, sobrando uma carga de segurança de 20%, possuindo o ambos os modelos um rendimento médio de R\$ 0,89km/kWh e um custo de manutenção de R\$ 0,39/km.

Além dos custos de aquisição e manutenção dos veículos, também foram consideradas duas variáveis: o preço da energia e as condições de financiamento da aquisição da frota. Preliminarmente se concluiu que seria possível buscar uma tarifa diferenciada através do livre mercado mesmo utilizando a LIGHT (distribuidora local) para realizar o transporte da energia elétrica necessária, posto que a tarifa praticada por esta empresa é a mais alta das distribuidoras brasileiras (R\$ 0,34/kWh). Quanto às condições de financiamento, concluiu-se que projetos municipais de eletrificação da frota urbana de ônibus são elegíveis a taxas de financiamento mais favoráveis junto ao Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), cujos juros correspondem a 0,9% ao ano, em comparação aos 1,3% ao ano para demais projetos relativos à mobilidade urbana (vide apêndice A). Seguindo as demais condições diferenciais para esta modalidade de financiamento, a modelagem financeira utilizada nas simulações considerou: a) prazo de financiamento de dez anos para o ônibus a diesel e quinze anos para o ônibus elétrico; b) custo de capital próprio de 12,5% e c) percentual financiado de 80% para o ônibus a diesel e 90% para o ônibus elétrico.

De posse destes dados, o GT ZEBRA passou a utilizar a ferramenta lançada em 30 de maio de 2019 pela EPE para a identificação dos custos associados à transição para a eletrificação total da frota de ônibus urbanos dos municípios brasileiros, provocando em cada cenário modelado a alteração das variáveis: a) custo de energia

elétrica e b) custo de financiamento (taxa de juros). De posse desta ferramenta, O GT ZEBRA buscou identificar dois cenários nos quais esta conversão pudesse ocorrer:

1. Aquisição dos ônibus elétricos articulados (BRT) pelo operador, com diferentes custos de energia;

1. Custo de financiamento de 10%
 1. Aquisição de ônibus pelo operador, com menor custo de energia entre as distribuidoras brasileiras (AME);
 2. Aquisição do ônibus pelo operador, com baixo custo de energia (Distribuidora Boa Vista);
2. Custo de financiamento de 9%
 1. Aquisição do ônibus pelo operador, com menor custo de energia dentre as distribuidoras (AME)
 2. Aquisição de ônibus pelo operador, com custo de energia baixo (Distribuidora Bela Vista)
 3. Aquisição do ônibus pelo operador (Distribuidora CEA)
 4. Aquisição do ônibus pelo operador, (Distribuidora CELPA)

2. Simulação de ônibus elétrico padrão

1. Cenário base. Tarifa LIGHT: R\$ 0,99/kWh. Custo de financiamento: 10% para diesel e 10% para elétrico.
2. Aquisição do ônibus pelo operador com tarifa de energia reduzida. Tarifa CEA: R\$ 0,71/kWh. Custo de financiamento: 10% para diesel e 10% para elétrico.
3. Taxa de financiamento reduzida. Tarifa da LIGHT: R\$ 0,99/kWh. Custo de financiamento: 10% para diesel e 9% para elétrico.

Fonte: GT ZEBRA (2019)

Como base de cálculo para a variável referente a tarifa de energia a ser utilizado no modelo, o GT ZEBRA utilizou-se dos seguintes referenciais, verificados junto às distribuidoras de energia identificadas como viáveis junto ao projeto:

Tabela 32- Custo de eletricidade segundo distribuidor de energia

Empresa	Custo (R\$ kW/h)
AME	0,46
Boa Vista	0,63
CEA	0,71
Celpa	0,73
LIGHT	0,99

Fonte: GT ZEBRA (2019)

Deste modo, passa-se à análise dos cenários identificados acima, cujas memórias de cálculo seguem expostas por meio da simulação utilizada pelo GT ZEBRA a partir da ferramenta desenvolvida pela EPE, na qual se utilizaram os dados relativos à prefeitura da cidade do Rio de Janeiro.

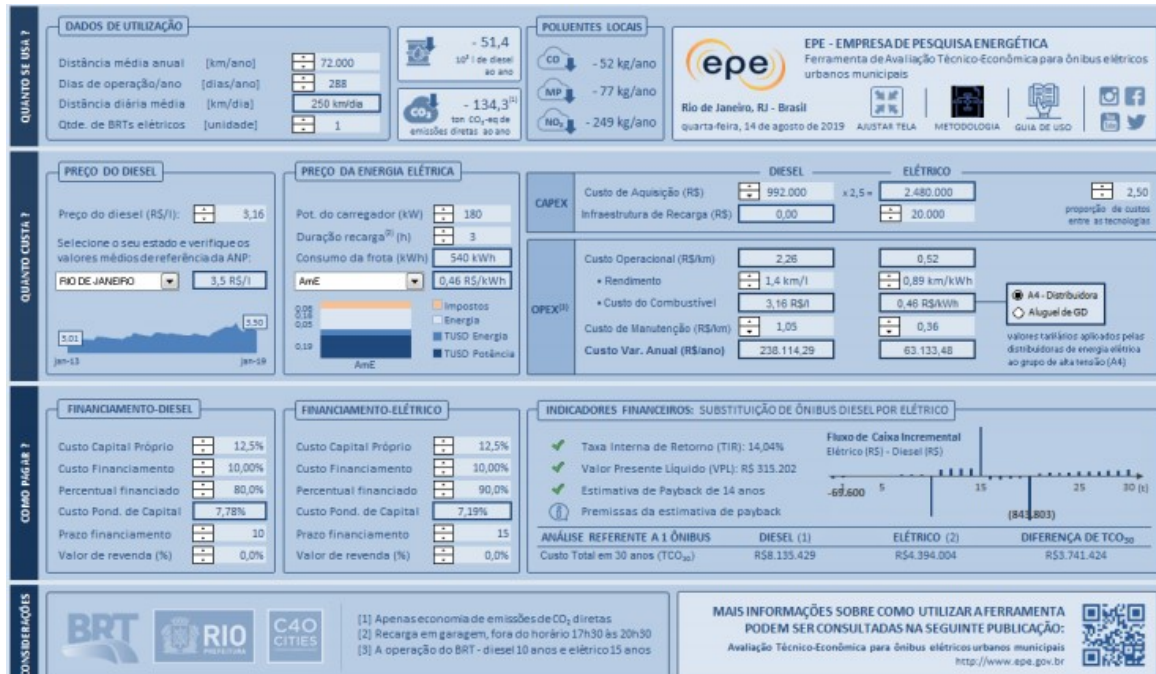
Cenário 1: Aquisição do ônibus elétrico articulado pelo operador, considerando diferentes custos de energia associados

1.A) Custo de financiamento estimado em 10%

A estimativa de 10% toma como premissa dados do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), o qual indica que taxas de financiamento de 100% são aplicadas a investimentos de pequenas e médias empresas, enquanto estados e municípios gozam de uma taxa de financiamento de 90% e demais clientes de 80% para projetos relativos à implantação de ônibus elétricos (BNDES, 2020).

Subcenário 1A.1: Considerando-se a menor tarifa estimada referente ao custo de fornecimento de energia, utilizou-se dados da empresa AME, o qual após processamento de dados por meio da ferramenta disponibilizada pela EPE, resultou em taxa interna de retorno positiva, conforme se pode observar na figura 15:

Figura 15- Simulação financeira do ônibus elétrico em função da menor tarifa de energia disponível

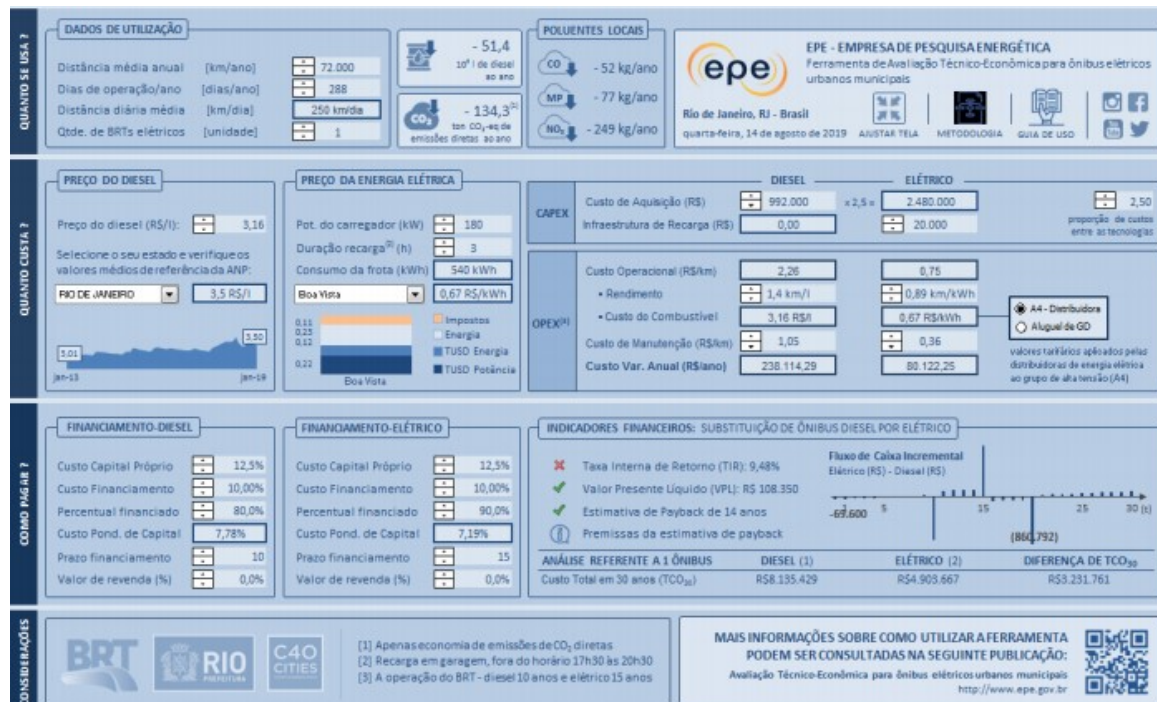


Fonte: GT ZEBRA (2019)

Subcenário 1A.2: Este subcenário foi considerado representativo devido a sua utilização de dados de custo de energia da empresa Boa Vista, cujo custo de energia é similar ao do utilizado pelo Metrô Rio (R\$0,67/kWh), mais o valor do custo de transmissão de energia relativo ao atualmente adotado pela empresa LIGHT (R\$ 0,03 kWh), resultando em um custo total de R\$ 0,67 kWh, apresentando portanto uma taxa de retorno negativa, o que inviabilizou esta alternativa.

Fonte: GT ZEBRA (2019)

Figura 16- Simulação financeira do ônibus elétrico em função da redução do custo de energia e mantido o custo de transmissão



Cenário 1B) Custo de financiamento estimado em 9%

Este cenário buscou identificar os efeitos da utilização de uma taxa de financiamento próprio ligeiramente mais favorável àquelas atualmente disponibilizada pelo BNDES, ou seja, a redução dos custos de financiamento em 1%, considerando estáveis os custos de fornecimento de energia, conforme se expõe na tabela abaixo:

Tabela 33- Viabilidade do projeto de eletrificação da frota mantidos os custos de energia à uma taxa de financiamento total do projeto de 9%

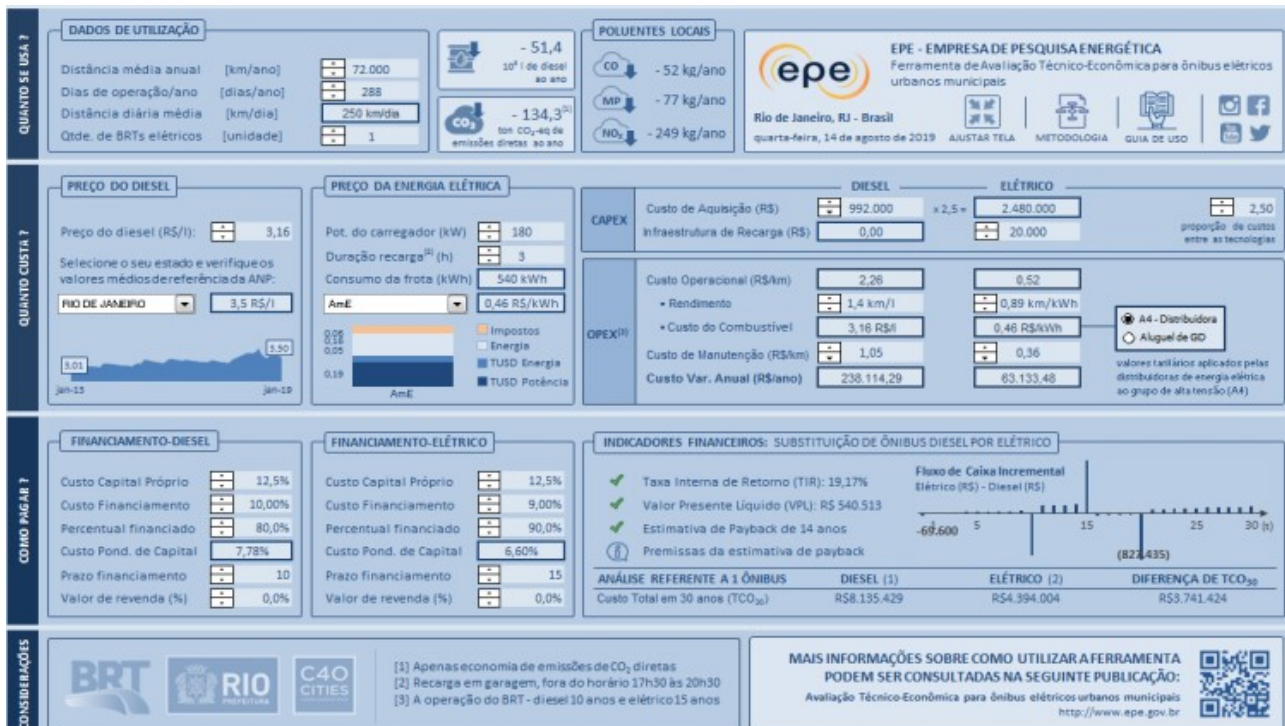
Empresa	Custo (R\$ kW/h)	Resultado
AME	0,46	Viável
Boa Vista	0,63	Viável
CEA	0,71	Viável
Celipa	0,73	Inviável
LIGHT	0,99	Inviável

Fonte: GT ZEBRA

Por meio da análise dos resultados gerados, entendeu-se como R\$ 0,71/kWh como limite máximo para que haja taxa de retorno (e portanto viabilidade de financiamento da transição a longo prazo).

Conforme se poderia intuir, o efeito da redução da taxa de financiamento próprio em 1% associado a utilização da menor taxa de transmissão de energia considerável (AME) implica em uma redução do prazo de financiamento total do projeto.

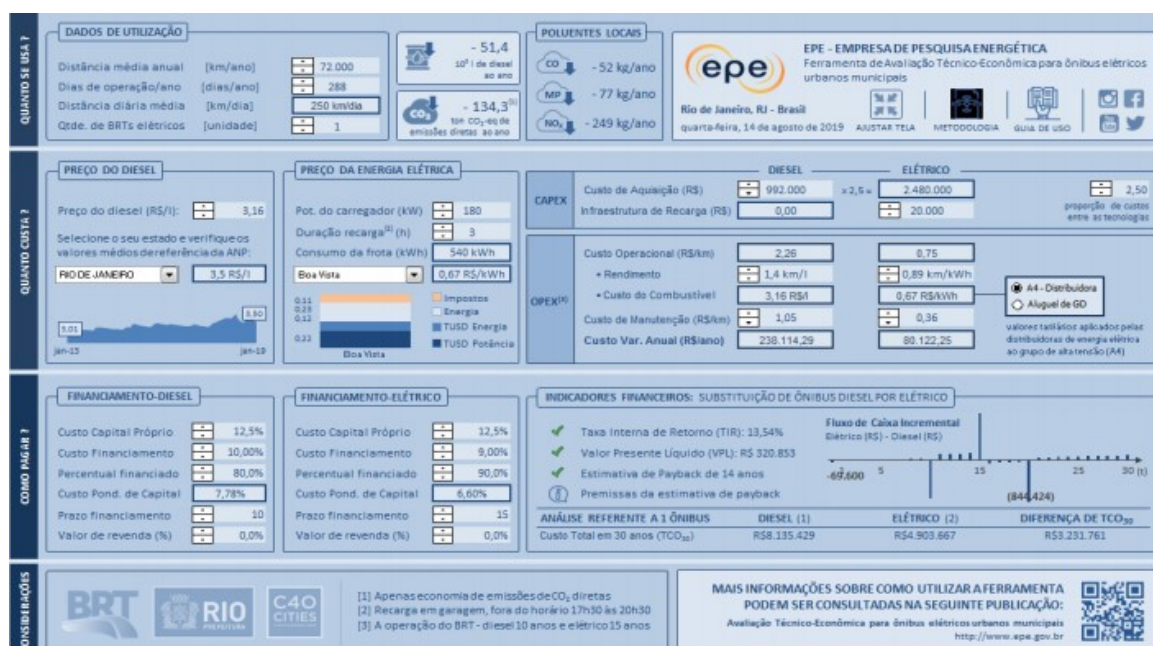
Figura 17- Simulação financeira do ônibus elétrico em função da redução o custo de energia e mantido o custo de transmissão



Fonte: GT ZEBRA (2019)

Subcenário 1B.2: Este cenário considera uma taxa de transmissão de energia intermediária (Boa Vista) – similar à utilizada pelo Metrô Rio, adicionada ao valor de transmissão de energia utilizado pela LIGHT

Figura 18- Simulação financeira do ônibus elétrico em função da taxa de transissão de energia intermediária



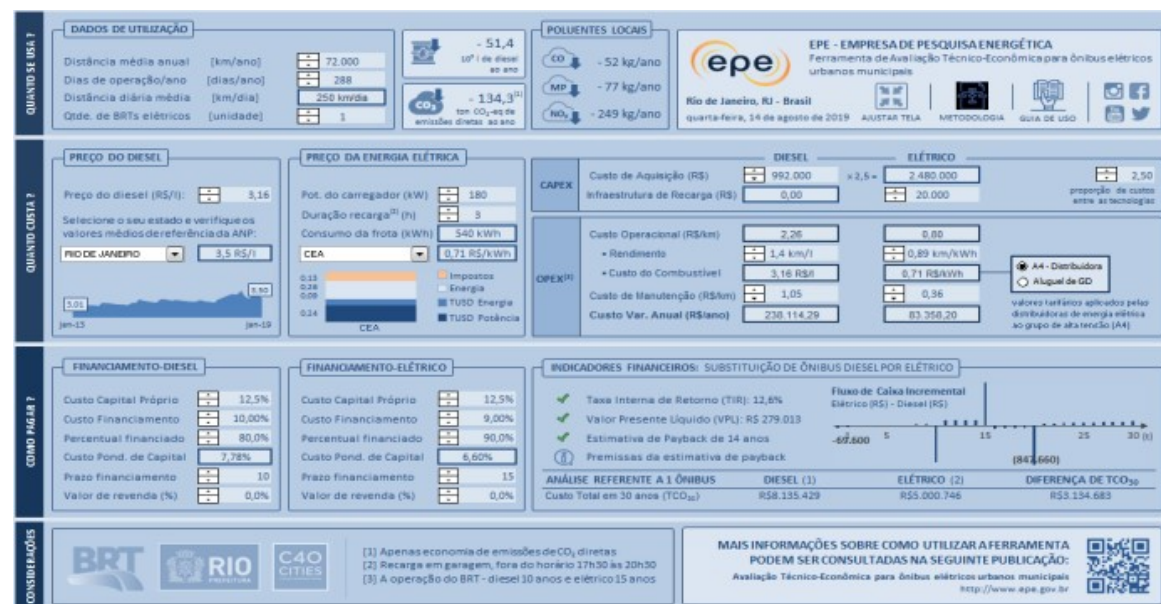
Fonte: GT ZEBRA (2019)

A viabilidade econômica deste cenário está ancorada em uma simulação que utiliza os custos considerados os mais realísticos (custo de energia utilizado pelo Metrô Rio e de transmissão utilizado pela empresa local - LIGHT), apontando para a viabilidade fática do projeto. Cumpre esclarecer que a atratividade deste cenário pode ser aumentada com uma revisão dos impostos incidentes sobre a empresa, relativo a R\$ 0,34 kW/h de seu custo total, que é R\$ 0,99 kW/h, representando por tanto uma taxa de 34% sobre o valor da energia elétrica comercializada.

Subcenário 1B.3: Tarifa limite em que a Taxa de Retorno Interno é favorável

Distribuidora CEA: R\$ 0,71 kWh

Figura 19- Simulação financeira do ônibus elétrico em função do limite da taxa de retorno interno



Fonte: GT ZEBRA (2019)

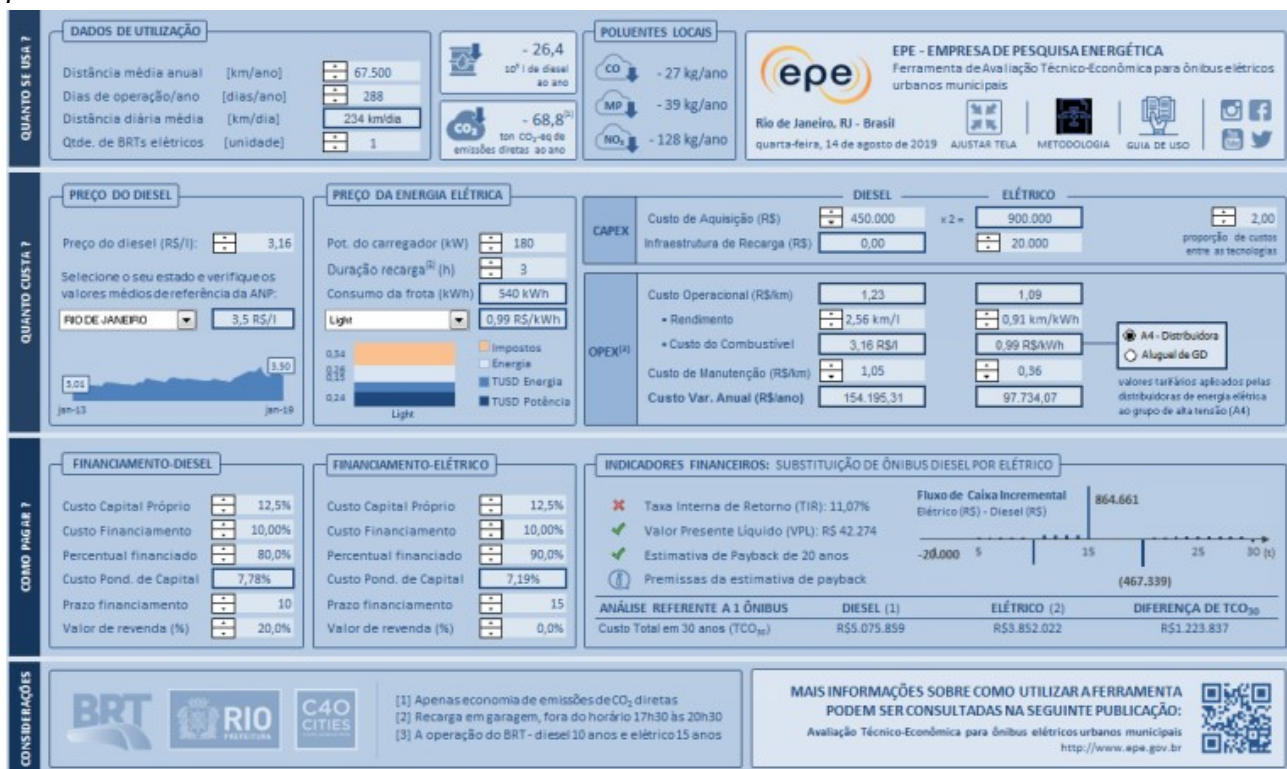
Conforme já indicado, o limite para a viabilidade econômica do projeto do ponto de vista da taxa interna de retorno considerando-se um financiamento de 9% é estimado em um custo associado de fornecimento de energia em R\$ 0,71 kWh.

4.1) Cenário Inicial do Ônibus Padrão

Para este cenário considerou-se o custo do ônibus elétrico padrão como o dobro do movido a diesel. Enquanto variável do custo de energia utilizou-se a tarifa vigente da operadora LIGHT, de R\$ 0,99 kWh, enquanto o financiamento dos veículos se manteve estável em 10% tanto para o modelo elétrico quanto o movido a diesel.

Resultado: TIR: 11,7% (inviável).

Figura 21- Simulação financeira do ônibus elétrico em função do custo de energia local e taxa de financiamento em 10%

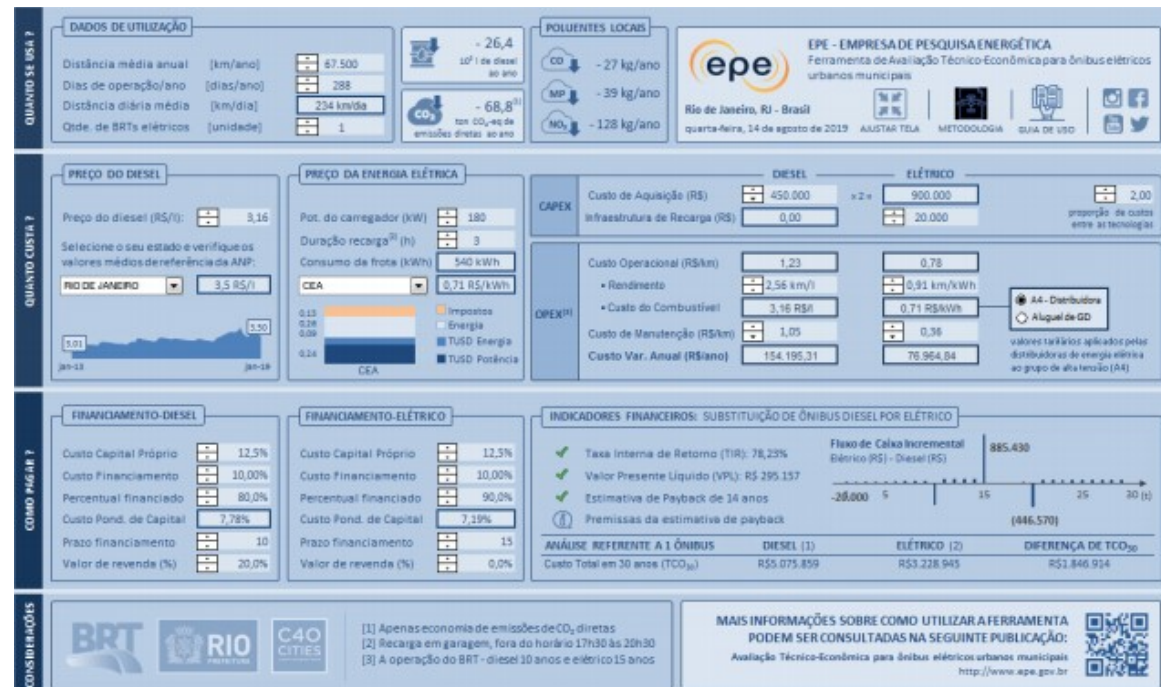


Fonte: GT ZEBRA (2019)

4.2) Cenário de tarifa de energia reduzida

Neste cenário adotou-se a tarifa de energia da operadora CEA (R\$ 0,71 kWh), enquanto o custo de financiamento se manteve em 10% para ambos os modelos.

Figura 22 - Simulação financeira do ônibus elétrico padron em função do custo reduzido de energia elétrica



Fonte: GT ZEBRA (2019)

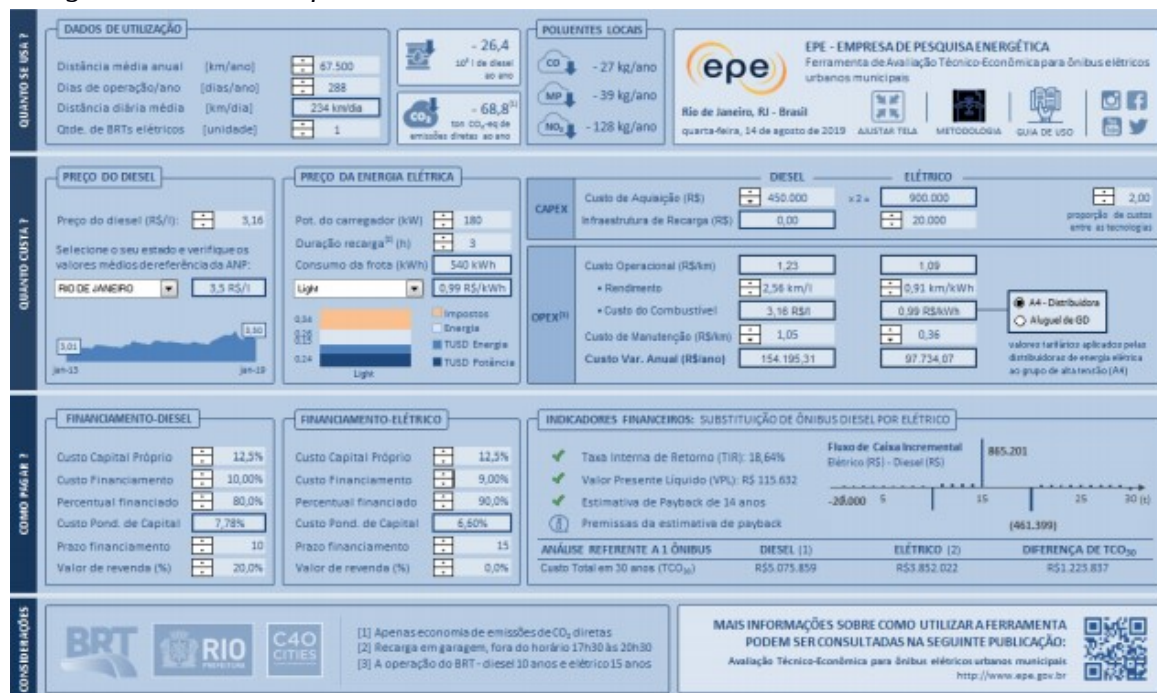
Resultado: TIR: 78,23% (viável)

4.3) Cenário no qual a taxa de financiamento é reduzida

Neste cenário adotou-se o custo de fornecimento de energia da empresa LIGHT (a mais elevada dentre as alternativas eleitas pelo GT ZEBRA), enquanto o custo de financiamento foi estipulado em 10% para o ônibus a diesel e 9% para o elétrico (de acordo com dados fornecidos pelo BNDES). Resultado: TIR: 18,64% (viável).

Em suma, após a análise dos diversos cenários acima descritos conclui-se que as variáveis mais sensíveis no modelo são o custo de energia e as taxas de financiamento.

Figura 23- Simulação financeira para o ônibus elétrico padron em função do custo de energia local e taxa de financiamento em 9%



Fonte: GT ZEBRA (2019)

Na medida em que o custo de fornecimento de energia da empresa local é o mais elevado entre as alternativas elencadas, o processo de transição inclina-se para as demais operadoras como forma de garantia da viabilidade econômica. Ademais, a transição para os ônibus elétricos na modalidade BRT só é viabilizada com menores custos de financiamento (até 9%) e com tarifas de fornecimento de energia mais módicas que a da operadora local (até R\$ 0,71/kWh). Quanto aos ônibus urbanos regulares, a mudança se apresenta viável mesmo com a tarifa de eletricidade da fornecedora local, desde que viabilizado o custo de financiamento indicado pelo BNDES de 9%.

5.3.1 Valoração das externalidades negativas

Conforme explicitado na seção 5.1.5 deste estudo, a frota de ônibus urbanos do município do Rio de Janeiro contém 6.502 ônibus urbanos e 346 BRT's, consumindo diferentes quantidades de diesel e portanto emitindo diferentes quantidades de poluentes. A partir do modelo desenvolvido pela EPE, no qual se aplica a quantidade anual de dióxido de carbono não emitido sobre ônibus urbanos elétricos em 68,8 toneladas anuais e 134,3 toneladas anuais sobre BRT's elétricos, é possível inferir que a redução desta emissão sobre o município será de respectivamente 447.337,60 e

46.467,80, perfazendo um total de 493.805,4 toneladas anuais.

Aplicando-se as mesmas estimativas e mesmo câmbio sobre o mercado de créditos de carbono utilizados na seção 5.1.6, é possível chegar à conclusão de que o volume de gás carbônico evitado por uma política de eletrificação da frota corresponderia a um valor entre R\$ 33.554.076,90 e R\$ 55.924.277, caso fosse transacionado no mercado internacional de créditos de carbono. Segundo a vida útil estimada pela EPE e pelo C40 de quinze anos de vida útil para estes veículos, a redução total do primeiro ciclo de vida útil (antes de qualquer substituição) da frota elétrica corresponderia neste mercado a um valor entre R\$ 503.311.153,5 e R\$ 838.864.155, o que corresponde a uma participação entre 7,5% e 12,5% da eletrificação completa da frota, estimada em R\$ 6,709,880,000, de acordo com a memória de cálculo abaixo:

(Custo de conversão padrão x Quantidade padrão) + (Custo de conversão BRT x Quantidade BRT). = (6.502 x 900.000) + (346 * 2.480.000) = R\$ 6.709.880.000.

5.3.2 Externalidades da cadeia produtiva de veículos elétricos e custos evitáveis de sua adoção

Ao possuir um alto potencial de neutralização de emissões poluentes, os veículos elétricos figuram hoje como uma alternativa para a redução da poluição atmosférica global. Conforme identificado nas seções 5.1.7 e 5.3.2 do presente estudo, o valor estimado da adoção desta medida sobre os ônibus urbanos do Rio de Janeiro corresponderia a uma soma entre R\$ 175.618.429,76 e R\$ 197.988.629,86, dado que se reduziria a zero as emissões de material particulado fino e dióxido de carbono sobre estas fontes.

No entanto, é necessário observar que ainda que se reduza a emissão imediata destes poluentes a partir dos ônibus urbanos elétricos, tal medida não acarreta necessariamente a redução total da poluição pelo sistema. Este fenômeno se deve ao fato de que a cadeia produtiva de geração e abastecimento de veículos elétricos possui lastros intrínsecos de poluição atmosférica. Segundo WILKINS (1997) estes lastros se devem principalmente a dois fatores, sendo eles o potencial de poluição da fonte de energia a ser utilizada nestes veículos e os processos de produção e descarte de suas baterias.

Quanto aos processos de produção e descarte das baterias a serem utilizadas nos ônibus elétricos, SAMARAS e MESTERLING (2008) expõem a importância do aperfeiçoamento de sua vida útil, dado que sua produção é intensiva em carbono e caso possua um ciclo de vida inferior ao dos veículos para os quais são fabricadas os resultados das análises custo-benefício podem ser fortemente alterados. A este respeito os autores também chamam atenção tanto para a forma de dirigir dos veículos quanto de seu sistema de recarga, pois são dois fatores que podem influenciar significativamente tanto no desempenho dos veículos quanto na vida útil das baterias. Neste compasso, MICHALEK *et al.* (2011) recomendam políticas públicas de subsídios ao aprimoramento da tecnologia de baterias para que seus custos sejam minorados e sua intensidade em carbono e emissão de poluentes seja reduzida, apontando para um corte de subsídios aos veículos de baterias de longa autonomia (identificados como de maior potencial poluidor).

A respeito das fontes geradoras de energia, o autor argumenta que este deixa de ser um fator de preocupação na medida em que a produção energética local adota um modelo sustentável. Citando o caso da Califórnia, região na qual apenas 21% da energia é proveniente de carvão e petróleo, a substituição de modais de combustão interna por elétricos representaria uma redução de 142 vezes as emissões de CO, em 66% as de CO₂, em 99% as de hidrocarbonetos e em 73% de NO_x – apesar de se estimar um aumento de 72% nas emissões de SO₂. Em regiões mais intensivas em uso do carvão para a geração de energia, como a Alemanha, as emissões de CO₂ e NO_x permaneceriam estáveis, observando-se no entanto a neutralização do CO e hidrocarbonetos e um aumento de 90% nas emissões de SO₂. Caso a produção de energia elétrica fosse 100% baseada na queima de carvão, a emissão de CO e hidrocarbonetos continuariam estáveis, ao passo que haveria um aumento de 150% de CO₂, 230% de NO_x, e 25 vezes a emissão de SO₂.

Observa-se, portanto, que o sucesso de políticas ambientais que objetivem eletrificar as frotas de ônibus urbanos para melhora local da qualidade do ar estão fortemente associadas ao potencial poluidor de sua produção de energia. No entanto, é possível argumentar que esta medida poderia trazer um fator benéfico para sua gestão na medida em virtude da facilidade relativa de se controlar o potencial poluidor das fontes geradoras de energias (termelétricas, hidrelétricas, usinas nucleares) do que no processo individual de montagem e manutenção dos veículos. De acordo com WILKINS (1997), contribui para esta dinâmica o fato de que os veículos tendem a

poluir mais à medida em que envelhecem ao longo de sua vida útil, ao passo em que as unidades geradoras de energia estão sujeitas a um processo mais restrito de controle e monitoramento. Do ponto de vista da adoção local, os veículos elétricos também são indicados para utilização em centros urbanos muito poluídos nos quais os veículos percorrem em média trajetos curtos (como a cidade do Rio de Janeiro), pois os veículos elétricos ainda possuem autonomias de funcionamento (expressa pela capacidade de suas baterias) inferiores as de que um veículo movido à combustão interna, problema este que poderia ser neutralizado em virtude das distâncias médias reduzidas. Além deste fato, os veículos movidos à combustão interna são mais poluidores e ineficientes na medida em que operam em temperaturas inferiores ao seu ideal de funcionamento, o que faz com que trajetos diários em distâncias insuficientes para o alcance destas temperaturas provoquem um potencial de consumo e poluição que poderiam ser reduzidos com a adoção local de veículos elétricos.

A respeito da valoração ambiental desta discussão, CARLSSON e STENNMAN (2003) realizaram uma análise custo-benefício para o setor de transporte na Suécia no período 2003-2010 utilizando os cálculos de SIKÅ (2000 *apud* CARLSSON e STENNMAN, 2003), chegando a um valor presente líquido de US\$ 4 mil em externalidades negativas. Caso o setor público subvencie instalações de recarga, este valor pode chegar a US\$ 10mil, o que faz com que os autores concluam por não recomendar políticas públicas para transição elétrica em larga escala – sugerindo que estes investimentos fossem convertidos em veículos híbridos.

A respeito dos veículos híbridos, STEPHAN e SULLIVAN (2006) realizaram uma análise da emissão de dióxido de carbono destes veículos em relação aos veículos elétricos. Após ponderar que o potencial de poluição dos veículos híbridos também é variável dependente do potencial poluidor das fontes de energia elétrica, os autores utilizam os valores marginais de emissões de CO₂ no país, cruzando estes dados com uma análise dos parâmetros de capacidade de produção elétrica nacional e considerando que os veículos são carregados a noite (fora do período de pico) e chegam a conclusão de que estes veículos emitem 75% do CO₂ emitido por um veículo elétrico e 51% do emitido por um veículo convencional. Ao analisar o benefício marginal de se substituir os veículos atuais por híbridos ou por investir estes recursos em plantas geradoras de energia mais sustentável, concluíram que se os híbridos forem substituir os movidos a combustão interna, os recursos deveriam ser prioritariamente alocados para esta medida. No entanto, caso se opte por eletrificar a

frota a combustão interna, estes recursos deveriam ser destinados prioritariamente para a substituição das usinas elétricas mais ineficientes do sistema.

SAMARAS e MESTERLING (2008) também buscaram estabelecer uma relação entre os efeitos dos veículos elétricos e híbridos em função do potencial poluidor das plantas de geração de energia dos Estados Unidos ao utilizar dois cenários: um com baixa emissão de carbono e um alta emissão de carbono nas fontes, utilizando o modelo de LAVE, HENDRICKSON e MCMICHAEL (1995). Os resultados encontrados apontam que se o cenário de produção de energia for mantido, os híbridos reduzirão suas emissões de GHG em até 32% em relação aos veículos convencionais e entre 9% e 18% em relação aos elétricos; em um cenário de baixa emissão de poluentes pelas plantas geradoras, os híbridos reduziriam 51% a 63% em relação aos convencionais e 30% a 47% em relação aos elétricos; Em um cenário de alta emissão de poluente nas plantas geradoras, os elétricos reduziriam entre 9% a 18% em relação aos híbridos (invertendo a tendência).

O estudo mais crítico aos veículos elétricos encontrado na literatura foi o de MICHALEK *et al.* (2011), em que se realizou uma comparação entre os custos e benefícios dos veículos elétricos e híbridos a partir de suas emissões de CO₂ levando em consideração critérios como produção das baterias, modelo de geração de eletricidade, refino e produção de gasolina, política de segurança energética norte-americana (associada à manutenção de petróleo) emissão de partículas e outros poluentes tóxicos e demais externalidades. E acordo com o estudo, em razão da matriz energética adotada, os veículos elétricos e híbridos com baterias grandes (e portanto maior autonomia) tendem a ser prejudiciais em suas emissões de GHGs a depender de como a política energética adotada se desenvolver. No entanto, em cenários mais otimistas estes veículos poderiam reduzir as emissões de CO₂ e SO₂, a depender do processo adotado para a produção e descarte de suas baterias.

6. Análise Qualitativa: Entrevistas com integrantes de Políticas Públicas

Uma vez realizada a análise quantitativa, foram realizadas sete entrevistas com os principais atores envolvidos na política em análise a fim de identificar suas perspectivas a respeito do tema e contrapô-las com os resultados encontrados pela aplicação do modelo epidemiológico e valorativo descrito no capítulo anterior. Inicialmente, foram exploradas suas conceituações de uma política de transportes

sustentáveis e como esta deveria ser aplicada no município do Rio de Janeiro. Em seguida, levantaram-se os custos e benefícios identificados pelos entrevistados a respeito desta política, para no bloco seguinte explorar suas avaliações da atual condução do setor pelo poder público. Após esta análise solicitou-se que os respondentes expressassem suas compreensões a respeito dos processos integrantes da política (prazos de implementação e financiamento, redução da poluição, participação dos setores públicos e privados) e estabelecessem correlações entre eles. Finalmente, os entrevistados forneceram suas previsões e expectativas acerca de como o setor tenderia a se comportar no futuro.

6.1 Ônibus sustentáveis e a melhor alternativa

A totalidade dos entrevistados declarou que o Rio de Janeiro deveria adotar uma política pública de transportes sustentáveis. Seis dos entrevistados caracterizaram esta política como uma iniciativa do poder público que possibilitasse a transição dos ônibus urbanos para um modelo de baixo carbono e demais poluentes. Apenas um dos entrevistados discordou desta conceituação, apontando que uma política de transportes sustentáveis deveria contemplar também outros aspectos.

Sem dúvida nenhuma. Isso é fundamental e é uma tendência e deve haver essa mudança. No entanto pensar sustentabilidade é muito mais do que pensar combustíveis ou pensar custo. Deve-se pensar também em como isso atende a população. A demanda é crescente? Qual a governança desses sistemas e processos? Como essas transições impactariam menos a sociedade? Até mesmo o controle do endividamento para que esta transição aconteça por meio de investimentos, subsídios e etc. Antes de falar diretamente disso, gostaria de falar o seguinte: o Rio de Janeiro é uma cidade muito heterogênea, que tem contextos urbanos, configurações e densidades muito diferentes e distintas. Eu particularmente não acredito que exista um modelo só de veículo sustentável no sentido do sustentável *strictu sensu* via combustível. Eu acho que você pode mesclar soluções para a cidade do Rio de Janeiro em função das características espaciais, urbanas, de resiliência e de risco em cada um dos lugares (Entrevistado 6, 2020).

Ainda que pontual, é importante identificar a existência de uma perspectiva que negue a adoção de uma política de transportes sustentáveis baseada nos custos e benefícios de sua solução energética. Esta perspectiva está em consonância com LITMANN e BURWELL (2003) a respeito dos fatores a serem considerados quando da elaboração da política de transportes sustentáveis, incluindo seus aspectos sociais,

econômicos e ambientais específicos, conforme discutido no capítulo 6 desta dissertação.

[...] Tome como exemplo a questão do VLT enquanto política pública... nas chuvas de maio [de 2019] com aquelas tempestades que tiveram, o sistema de transporte de piso alto a diesel [nos ônibus] funcionou muito bem obrigado, foi uma das poucas coisas que funcionou bem no Rio de Janeiro... enquanto isso o nosso VLT tão sustentável, tão maravilhoso, tão caro e elétrico parou. Então o que é sustentável e o que não é? Estas questões do que vai atender na hora da necessidade precisam ser discutidas (Entrevistado 6, 2020).

Um dos entrevistados negou ainda que uma política pública de transportes municipais sustentáveis contemplaria os ônibus urbanos, uma vez que estaria mais associada ao transporte metroviário e ferroviário (ainda que nas distribuições de competências federativas do setor estes modais não sejam encampados pela escala municipal).

Mas mobilidade pública para mim, vou ser sincero, eu nunca vi como a parte de ônibus. Eu sempre vi como metrô e ferroviário. Eu acho que isso é transporte coletivo e mobilidade pública. Eu ainda acho que o ônibus não dá acesso a todo mundo, polui bastante e não é transporte de massa... demora... leva um tempo. Então para mim eu acho que a gente é muito carente porquê a nossa frota ferroviária e aquaviária praticamente não existem (Entrevistado 7, 2019).

Quanto à solução tecnológica a ser adotada, dois entrevistados recomendaram o gás natural, três a eletricidade e um o biocombustível, ao passo que um entrevistado não soube responder a questão. O processo de resposta individual para eleger e justificar sua alternativa constituiu uma etapa interessante da entrevista, posto que os respondentes se embasavam em argumentos que eram completamente ignorado por outros, por vezes antecipando contra-argumentos e os rebatendo sem que fossem previamente solicitados – conforme se observará no quarto bloco da análise.

6.2 Custos e benefícios

Este bloco de questões constituiu uma etapa do processo de aplicação de entrevistas na qual se observou que os respondentes que advogavam pela aplicação de

uma solução tecnológica em particular tenderam a destacar as vantagens atribuídas a estas ao passo que minimizavam seus custos associados. Por outro lado, ao se referirem às demais opções, salientavam suas desvantagens operacionais e custos financeiros adicionais. Cinco entrevistados perceberam as opções como concorrentes das demais, ao passo que dois entendiam que poderia haver espaço para a convivência harmônica de duas ou mais opções energéticas para a frota de ônibus sustentáveis no município.

As percepções a respeito dos custos e benefícios dos biocombustíveis se concentraram em aspectos relacionados a respeito de seu prazo de implementação (apontado como principal benefício) e redução da vida útil dos veículos (apontado como principal custo). A respeito do prazo de implantação, foi apontado que por constituir um combustível *drop-in*, o biodiesel já se encontra preparado para a implantação imediata nas frotas do município.

No caso do biodiesel a gente já tem uma ociosidade. Hoje em dia mesmo considerando a aplicação do B12 a gente já está próximo a 40% de ociosidade da indústria de biodiesel. Ou seja: temos capacidade a vontade para abastecer toda a frota de ônibus urbano do país nesta condição (Entrevistado 2, 2020).

Apesar de quatro dos sete entrevistados apontarem o biodiesel como a melhor opção para implantação imediata, estes também defenderam que esta deveria se dar de forma gradual, avaliando seus resultados e espaçando seus intervalos de aumento da concentração obrigatória (conforme já vem sendo feito por meio da legislação federal incidente).

Quando a gente fala de abastecer com biodiesel, apesar de existirem casos esporádicos no Brasil e no mundo de uso de B100, o que a gente defende para as frotas urbanas é um uso escalonado. Quer dizer, em faixas de utilização progressivas, como começar com 20, depois 30 e alcançar mais ou menos 50, esse é um horizonte que a gente vê de aplicação imediata sem qualquer alteração no motor e sem qualquer outra dificuldade (Entrevistado 6, 2020).

Quanto aos custos, dois entrevistados se referiram especificamente aos potenciais abrasivos e corrosivos próprios do biodiesel sobre os componentes do veículo, o que poderia reduzir sua vida útil e conseqüentemente aumentar os custos de investimentos do operador.

No caso do biodiesel já utilizamos o B10. Se passarmos para o B20 eu já tenho que trocar toda a frota também. Não adianta eu evoluir dentro do sistema de biodiesel pois cada vez que eu evoluo um pouco eu tenho que trocar a frota, tenho que trocar os carros, os motores não se adaptam a esta evolução do biodiesel. Já que eu vou ter que comprar uma frota nova,

acredito que o mais adequado é o gás natural (Entrevistado 1, 2020).

O B15 é muito mais factível, o B20 nem tanto. Quando eu falo da utilização eu quero dizer que estou substituindo somente 20% do combustível fóssil. Quando o Rio de Janeiro analisou a proposta 5 anos atrás ele substituía 30% do diesel pelo gás natural, isso já era um resultado melhor do que o biodiesel (Entrevistado 3, 2020).

Estas críticas, no entanto, foram previstas e rebatidas pelos defensores do biodiesel (ainda que não tenham tido acesso a nenhuma das outras entrevistas), o que demonstra que estão cientes dos argumentos dos críticos à solução e já havia construído uma linha argumentativa neste sentido.

Eu imagino que você na sua pesquisa e até em entrevistas com outros agentes possa ouvir isso mas eu to só separando o joio do trigo [...] eu diria que isso é uma visão ultrapassada, isso era lá no começo. No começo dos carros a etanol além do problema para ligar de manhã e em noites mais frias ele também atacava as borrachas do carro. Isso era um problema lá no início e ao longo do tempo foi corrigido. É a mesma coisa com o biodiesel, ele tem características mais abrasivas em alguns aspectos... na verdade decapantes... mas com materiais que não são compatíveis, como o cobre, o latão... e que faziam parte de componentes até de postos de gasolina no passado e que também não observaram... isso realmente já reduziu bastante, mas no começo do programa de biodiesel isso era um problema que era muito latente justamente pela incompatibilidade de alguns materiais utilizados ainda seja pelo consumidos final ou seja até por revendedores... inadequados, não convergentes com as normas brasileiras de produção e armazenagem. Isso também pode ser aplicado tanto a consumidores como as próprias empresas de ônibus que muitas vezes não tem um cuidado seja até no licenciamento ambiental a gente sabe que há até no Brasil instalações antigas e que sofreram muito poucas adequações ao longo do tempo e que inclusive estão a margem do licenciamento ambiental municipal e estadual. E não fazem o dever de casa adequadamente e acabam jogando a culpa no biodiesel, porque naturalmente no diesel fóssil o enxofre acaba tendo um poder bactericida para a criação quando se fala da transição entre o combustível e a água quando está muito tempo armazenado cria; o que o mercado chama de “água velha”. Estes são exemplos de atribuição a problemas de biodiesel e que na verdade são a falta de observância às boas práticas de armazenagem e manuseio (Entrevistado 2, 2020).

Os principais custos associados ao gás natural dizem respeito ao processo de conversão da frota para sua utilização ou custo de se adquirir veículos já adaptados para seu uso. Além do efeito direto sobre os investimentos dos operadores, este processo poderia gerar um efeito indireto relacionado a dificuldade de se revender os veículos de vida útil expirada para municípios do interior do estado que possuam regulações menos estritas. No entanto, a exemplo dos defensores do biodiesel, os respondentes que se inclinaram ao uso do gás natural argumentaram que este problema já foi superado devido às soluções tecnológicas.

No passado (década de 80) houve uma primeira onda de utilização de gás

natural no rio de janeiro principalmente, com os antigos ônibus da CTC em que foi testado o ônibus a partir de aterro sanitário. Esta solução não deu certo até pela tecnologia que estava disponível no momento. A motorização não era adequada à tecnologia. [...] Hoje você tem uma tecnologia muito mais avançada, com ônibus que são já preparados, já nascem preparados para trabalhar com este combustível. Por exemplo: a tecnologia da SCANIA tem um módulo que te permite variar até a composição deste gás Este veículo inclusive é fabricado no Brasil. A fábrica na SCANIA em São Bernardo produz este veículo, mas ele não é utilizado no Brasil. Aqui ele é só utilizado para testes. Ele é produzido aqui e exportado para a América Latina. Hoje a gente tem a tecnologia pronta e disponível. Não é só a SCANIA. Cada montadora tem a sua tecnologia pronta. A AMAN já tem um veículo a gás, a IVECO tem o seu veículo a gás, a MERCEDES... todas as montadoras tem a sua solução a gás. Isto é para te dizer o seguinte: a tecnologia 100% a gás está disponível com um resultado de redução de reduções magnífico, chega a 20% de redução de CO₂ (Entrevistado 3, 2020).

Já os críticos à solução argumentaram que ainda que sua indústria tenha inovado ao longo do tempo, ainda se trata de uma matéria-prima fundamentalmente fóssil e não renovável. Por esta razão, sustentou-se que no longo prazo os problemas relativos a utilização do petróleo e seus derivados não seriam solucionados, como a sua finitude e volatilidade frente ao cenário geopolítico.

O gás natural é fóssil. É óbvio que ele é menos poluente que o petróleo mas ele é um combustível fóssil. Para alimentar veículos pesados... a gente sabe que para veículos mais pesados tipo ônibus e caminhões a perda de potência e desempenho do veículo a gás perde de lavada para o diesel e o biodiesel (Entrevistado 2, 2020).

A maioria dos entrevistados apresentou a solução elétrica como a mais recomendável para adoção pelo município, apontando como principal razão seu potencial de redução de poluentes.

A solução elétrica seria ideal para o meu setor, uma vez que reduziria a quase zero as emissões [...] as emissões praticamente iriam zerar para todos os poluentes, então o benefício seria ótimo, nem haveria mais que se pensar nesta área de emissões de poluentes.

Agora em termos de custos eu não tenho como opinar... acredito que seja mais onerosa que as outras opções (Entrevistado 7, 2019).

No entanto os entrevistados que eram contrários a esta opção criticaram o argumento da redução absoluta de poluentes proporcionada pelos veículos elétricos, apontando fatores poluentes que não eram levados em consideração pelos favoráveis a opção.

A maioria das discussões carece de informações técnicas adequadas. Por que? No carro elétrico a emissão do escapamento é zero, mas a pegada de carbono da produção do veículo, do motor e da geração elétrica continua

suja principalmente menos desenvolvidos. O cara na Alemanha usa carro elétrico com energia gerada em usina de carvão! Entendeu? Essa visão míope e obtusa de que as pessoas tem de falar “ah, eu comprei um carro elétrico então estou contribuindo para o planeta”. Quer dizer, eles esquecem da pegada de carbono que está por trás. Comparativamente a pegada do carro elétrico perde até para a gasolina (Entrevistado 3, 2020).

Quando tem um pane elétrico a cidade inteira fica no escuro durante um apagão, mas o sistema de transporte está funcionando, você consegue ir para casa no escuro. Agora se está tudo vinculado ao mesmo sistema de alimentação de energia [elétrica] você não consegue nem chegar em casa (Entrevistado 6, 2020).

6.3 Avaliação do cenário

A totalidade dos entrevistados se mostrou crítica ao atual cenário de transportes sustentáveis na cidade do Rio de Janeiro. Apresentando visões que passavam pela sua ineficiência até sua completa inexistência, estes resultados foram agravados pelos encontrados no primeiro bloco, em que se afirmou que a construção de uma agenda pública voltada para a construção de uma pauta de transportes sustentáveis municipais era um fator de extrema importância, cujo cenário deveria ser alvo prioritário da atenção dos gestores municipais.

Hoje infelizmente não existe uma política pública de apoio ao transporte sustentável. Existem metas e imposições assumidas junto aos concessionários porém não existe nenhum apoio financeiro ou subsídio para políticas de transportes mais sustentáveis. [...] Existe um fundo de mobilidade urbana que foi criado, mas a destinação dele ainda não está resolvida. Ele tem dentre várias destinações o transporte público, o apoio e subsídio ao transporte público, mas é muito novo. Começou este ano e deve estar recebendo o primeiro aporte agora. Ainda não há definição nenhuma (Entrevistado 1, 2020).

Ao serem questionados, apenas um respondente foi capaz de citar uma iniciativa municipal voltada para os ônibus sustentáveis, sendo esta o decreto 44.210 de 8 de janeiro de 2018 a respeito da elevação da concentração de biodiesel para 20% sobre o óleo diesel atualmente utilizado.

Nós já estamos em meados de 2020 e ainda não se efetivou. Para você ver como ainda é difícil até por uma falta de compreensão do próprio poder público de como tratar estas questões. De como tratar as prioridades e fazer a conta que isso representa. Isso é apenas uma questão de planilhar estes custos e fazer ajustes não na tarifa, mas nas contas do município. Fazer um ajuste nestas contas dos valores dos impostos e do subsídio que é dado. Fazer com que isso se equipare ao do combustível fóssil, especialmente

neste cenário em que estamos vendo que a defasagem está maior.

Durante 2019 todo o biodiesel na maioria dos meses em certas regiões do país estava mais barato do que diesel fóssil. O Rio de Janeiro como tem uma refinaria dentro de casa, na verdade não é no Rio mas é em Caxias, é do lado (Entrevistado 2, 2020).

6.4 Modelo de transição

A seção referente aos modelos de transição foi a que mais reuniu material ao longo de todas as entrevistas, uma vez que os respondentes se sentiram particularmente inclinados a dividir suas percepções a respeito de como o município deveria transicionar para um modelo mais sustentável. O entrevistado 6 não atribuiu os valores solicitados para as questões fechadas uma vez que não considerou a solução energética para os veículos um fator relevante em uma política de transportes urbanos, ao que não se considerou seu peso para o cálculo das médias.

Tabela 34- Viabilidade das tecnologias para a implantação de ônibus sustentáveis no município do Rio de Janeiro

	Biodiesel	Gás Natural	Eletricidade
1	6	6	3
2	10	3	1
3	6	10	5
4	7	6	6
5	4	4	6
6	-	-	-
7	8	6	2
Média	6,8	5,8	3,8

Fonte: Elaboração própria

Com o objetivo de ordenar a percepção de viabilidade de implantação das tecnologias pelos entrevistados em uma escala hierárquica, solicitou-se que estes atribuíssem valores entre 0 a 10 para cada uma. Observou-se que as percepções de viabilidade se associaram fortemente às previsões de prazos para que cada tecnologia fosse implementada (conforme se pode observar na tabela abaixo), ou seja: quanto maior o prazo identificado para sua implementação, menor sua sua pontuação na escala de viabilidade.

Tabela 35- Prazo para a implementação das tecnologias sustentáveis (anos)

	Biodiesel	Gás Natural	Eletricidade
1	7	7	15
2	0	3	5
3	1	2	10
4	5	10	12
5	1	4	10
6	-	-	-
7	1,5	1,5	10
Média	2,6	4,6	10,3

Fonte: Elaboração própria

Os resultados encontrados para esta questão são corroborados pelo conteúdo expressos pelos respondentes ao longo de suas entrevistas, que revelam que a solução mais imediata corresponderia ao biodiesel, enquanto a intermediária seria o gás natural e finalmente os ônibus elétricos enquanto solução a ser adotada no longo prazo. Quanto ao biodiesel, as principais razões apontadas para o prazo médio de 2,6 anos foi a preocupação dos entrevistados quanto aos danos potenciais provocados pelo produto sobre os veículos, ao que estes necessitariam de um prazo de 2,6 anos para se adaptar à transição.

O gás natural foi o que apresentou maior desvio padrão sobre os dados colhidos, o que revela um alto grau de discordância entre entrevistados a respeito do prazo necessário para sua implementação. Como justificativas para o prazo médio de 4,6 anos foi apontado o processo de conversão e/ou aquisição de nova frota e estabelecimento de uma infraestrutura e cadeia de suprimentos que operacionalizasse a tecnologia.

Apontada de forma unânime pelos entrevistados como solução a longo prazo, a eletricidade apresentou uma média de 10,3 anos para sua transição e operacionalização. Os principais argumentos apresentados para embasar tal perspectiva correspondem às dificuldades de financiamento, desenvolvimento de tecnologia nacional, estruturação dos pontos de recarga e dificuldade de revenda para municípios menores após se expirar a vida útil estabelecida contratualmente pelo município do Rio de Janeiro.

Tabela 36- Grau de importância dos aspectos da política (0 a 10)

	Redução da poluição	Custo financeiro	Prazo de implantação	Investimento público	Investimento privado
1	10	8	5	9	5
2	10	5	0	5	5
3	10	8	6	4	6
4	9	8	9	9	9
5	10	10	4	5	5
6	-	-	-	-	-
7	10	8	5	9	0
Média	9,8	5,9	4,8	6,8	5

Fonte: Elaboração própria

Com o objetivo de se identificar os aspectos prioritários a serem considerados em uma hipotética política municipal de transportes sustentáveis, solicitou-se que os entrevistados atribuíssem uma pontuação de 0 a 10 para cinco elementos: redução da poluição, custo financeiro, prazo de implementação, investimento público e investimento privado.

O único elemento que apresentou um grau de concordância quase absoluto e a maior média (9,8) dentre os demais foi a redução da poluição, indicando que este resultado deveria prevalecer sobre os demais (mesmo sobre o custo), além de revelar um consenso entre os entrevistados sobre esta questão.

Um resultado que chamou a atenção no estudo foi a baixa importância atribuída ao fator “prazo de implementação”, demonstrando que os resultados encontrados pela questão anterior são relativamente indiferentes para os entrevistados quando comparado aos demais – o que pode indicar que a política de transportes sustentáveis no município é abordada por seus atores como uma política *per se* a longo prazo, a despeito da solução adotada.

Finalmente cumpre explicitar a baixa diferença atribuída a participação do investimento público (6,8) e privado (5), o que corrobora a visão presente no conteúdo das entrevistas as quais revelaram que o modelo de transição ideal seria financiado por meio de uma parceria entre os dois setores, os quais se comprometeriam contratualmente a fornecer subsídios por um lado e atendimento a

metas e resultados preestabelecidos, por outro.

6.5 Expectativas e previsões

Todos os entrevistados apontaram que os ônibus urbanos do município transicionariam para um modelo sustentável nos próximos dez anos, independente da solução adotada. Quando questionados a respeito desta solução, os entrevistados repetiram as opiniões expressas na questão 2, indicando que as alternativas que consideram ideais serão as alternativas selecionadas no futuro. No entanto, algumas dificuldades foram apontadas para que este objetivo fosse alcançado.

Os atuais contratos de concessão não prevêem esta mudança e não têm espaço inclusive de viabilidade financeira para se adaptarem a esta nova realidade sustentável. Eu acredito que o governo deveria se preocupar com as novas concessões e garantir que estas novas concessões já nasçam sustentáveis (Entrevistado 1, 2020)

Têm-se, portanto, que o modelo de gestão dos atuais contratos poderiam atuar como um dificultador do processo, o que apontaria para uma iniciativa do poder público em reformular seus futuros editais de concessão do serviço de transportes de modo a direcionar a seleção de transportes sustentáveis. Além de implicar em um possível obstáculo para a transição no futuro, também foi apontado que as disposições contratuais atuam como um incentivo ao atual modelo poluidor.

A gente tem que se colocar na cadeira do operador. Se eu faço uma licitação para operar e o custo do combustível entra como custo variável, entrando apenas na composição da tarifa sem remunerar o operador, é óbvio que ele vai aderir a uma solução mais poluente, uma solução a diesel. É um veículo mais barato que vai entrar como investimento dele. Ele vai entrar como o gás natural que é mais barato que o diesel e vai refletir 100% na tarifa. É importante que a gente pense nesta modelagem de uma forma que você consiga atender a todos os interesses porque vai existir um custo financeiro sim maior pelo operador. Esta modelagem tem que rentabilizar este esforço maior do operador (Entrevistado 3, 2020).

Desta forma, foi apontado que a recomposição do modelo de remuneração do operador poderia atuar como incentivo indireto para que este realizasse a transição de sua frota.

Eu acredito que quem polui mais deva subsidiar quem polui menos. Então se hoje eu tenho uma frota de carros que faz um transporte individual poluindo muito, esta pessoa deve garantir que o transporte público polua

menos. Esta transferência de responsabilidade pode ser o caminho (Entrevistado 1, 2020).

Desta forma, é possível observar que os diversos atores selecionados para compor a entrevista estão cientes da complexidade da adoção de um modelo de sustentabilidade aplicado aos transportes urbanos por ônibus, apresentando cada um suas perspectivas e previsões sobre a questão. Contribuem para esta complexidade temas que ainda se encontram sob acirrada discussão no debate público, como o melhor modelo de gestão do setor, o papel dos atores públicos e privados, a eficiência do sistema de concessões, mecanismo de incentivos ao transporte coletivo na esfera local, desenho urbano e segregação socioespacial e a taxaço sobre veículos leves particulares a partir das externalidades negativas que produzem.

7. Conclusões

O setor de transporte público por ônibus constitui serviço essencial prestado aos habitantes dos municípios brasileiros, integrando o principal perfil de seus usuários a população de menor renda. Ainda que a demanda por este tipo de transporte tenha declinado em âmbito nacional, os efeitos negativos provocados pela sua operação perseveram, em especial no município do Rio de Janeiro – que possui uma das maiores taxas de deslocamento entre as regiões metropolitanas.

Entre estes efeitos, dividem-se os danos diretos provocados sobre a saúde humana via exposição continuada à poluição atmosférica (cujos resultados este estudo buscou valorar) e os demais danos ambientais provocados pelo setor.

Abordando um tema ainda em amplo debate em âmbito nacional e internacional, esta dissertação buscou identificar a viabilidade econômica da implantação de ônibus sustentáveis para mitigar os efeitos negativos causados pela poluição do SPPO no município do Rio de Janeiro, aplicando para tanto uma abordagem mista e sequencial de métodos quantitativos e qualitativos.

Inicialmente buscou-se na literatura um histórico de como as iniciativas e políticas de transporte sustentável se desenvolveram, com foco nas soluções referentes aos biocombustíveis, gás natural e eletricidade. Esta análise levou à conclusão de que as políticas estudadas eram invariavelmente resultado do

comportamento do mercado internacional do petróleo e seus derivados, adquirindo maior ou menor relevância no contexto doméstico de acordo com a conjuntura da indústria petrolífera.

Situando-se o problema no recorte geográfico da cidade do Rio de Janeiro, realizou-se no capítulo 40 um regate histórico de como o sistema de transportes municipal se estabeleceu sobre o município, contribuindo para moldar a segregação socioespacial própria da cidade do Rio de Janeiro e atuando para que os efeitos da poluição resultante do SPPO se manifeste de forma heterogênea sobre a cidade.

O capítulo 5 e suas subseções aplicaram a metodologia mais recente disponível para a valoração ambiental da poluição atmosférica produzida por ônibus urbanos, contribuindo para o debate ao acrescentar à literatura análises específicas sobre o município do Rio de Janeiro, comparando as três soluções tecnológicas atualmente em discussão – esforço ainda não empreendido sobre nenhum ente federado.

Ao realizar este empreendimento, observou-se que a cidade do Rio de Janeiro opera em deseconomia quanto ao SPPO ao se introduzir no modelo de análise as externalidades negativas negligenciadas. Esta conclusão importa na identificação de um modelo no qual o setor privado desenvolve suas atividades e sobre elas auferem lucros à medida em que o poder público arca com os custos associados aos efeitos causados sobre a poluição, sendo eles em uma lista não exaustiva os custos em comorbidades financiado pelo orçamento da saúde pública, as perdas em produtividade causadas sobre a economia local pelo abreviamento da participação dos indivíduos nesta, os custos sociais em atendimento à população vítima de deslizamentos de encostas e inundações provocadas pelo aquecimento local e de reparo e manutenção de vias públicas e sistemas de transportes afetados por estes fatores, como estações de metrô, ônibus, bicicletários e linhas de VLT.

Ainda de acordo com a análise quantitativa, os custos identificados para o financiamento de alternativas sustentáveis que mitigassem estes efeitos poderiam ser integralmente arcados com somente metade das rubricas destinadas para compor o Fundo Municipal de Transportes Sustentáveis, cujo financiamento seria imediato para o biocombustível (B20) e o gás natural e vinte anos para os ônibus elétricos.

No capítulo 6 foram realizadas entrevistas com atores pertencentes ao setor de transportes sustentáveis em um sentido *lato*, identificando em cada um suas perspectivas e previsões sobre o setor. Entre os resultados alcançados, observou-se o

consenso de que o município já deveria ter adotado uma política que propiciasse a transição de seus ônibus para um modelo sustentável. Ainda que a solução apontada divergisse de acordo com os entrevistado em questão, explicitou-se uma visão clara de que os ganhos obtidos seriam invariavelmente superiores aos custos. Quanto ao modelo indicado para se operacionalizar esta transição, apontou-se que o poder público deveria liderar a iniciativa, seja por disposições contratuais específicas presentes em termos aditivos e/ou um novo modelo licitatório, seja via incentivos fiscais diretos e indiretos para o custeio deste empreendimento, como a redução de alíquotas referentes aos investimentos necessários, concessão de empréstimos à taxas de juros preferenciais e taxação dos veículos mais poluidores.

Como é próprio dos estudos exploratórios, a análise ora desenvolvida encontra limitações. Em primeiro lugar, as externalidades negativas geradas pelo sistema de ônibus na cidade do Rio de Janeiro não podem ser restringidas à estimativas no impacto sobre a saúde da população – este marcador foi selecionado tão somente para permitir uma aproximação mínima dos custos gerados pela operação do sistema, sem prejuízo dos demais.

Em segundo lugar as características de concentração e dispersão dos poluentes locais obedecem a critérios de difícil previsibilidade (tais como temperatura, pressão e pluviosidade⁰, o que compromete potencialmente a desagregação por área de planejamento no município – ainda que se tenha aplicado o método de médias mensais.

Em último lugar, a análise empreendida para estimar os custos associados às alternativas sustentáveis também possuem limitações específicas, uma vez que custos supervenientes de implantação podem ser aplicados – a serem estimados somente na etapa de consolidação dos projetos executivos destes empreendimentos.

Neste sentido, estudos futuros que objetivem desenvolver abordagens quantitativas para avaliação das externalidades negligenciadas cuja origem sejam os ônibus urbanos nacionais podem constituir relevante contribuição para o tema ora explorado.

Subsidiariamente, sugere-se também o aprofundamento das análises de valoração ambiental sobre os modos ativos de transporte (como as bicicletas), posto que a quantificação destes benefícios poderiam atuar como argumento favorável para implantação deste modal, sistematicamente adotado no contexto internacional em escalas locais.

REFERÊNCIAS

ABREU, Mauricio de Almeida. **Evolução urbana do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: IPLANRIO. J. Zahar, 1987. Acesso em: 29 dez. 2019.

ACSELRAD, Henri. **Vulnerabilidade social, conflitos ambientais e regulação urbana**. *O Social em Questão*, v. 33, n. 18, p. 57–68, 2015. Disponível em: <http://osocialemquestao.ser.puc-rio.br/media/OSQ_33_1_Acserald.pdf>. 5 set. 2019.

AFONSO, J. R., & CASTRO, K. P. D. **Carga tributária sobre petróleo no Brasil: evidências e opções**. Rio de Janeiro: Instituto de Estudos de Política Econômica, 2011. Disponível em: <https://repositorio.enap.gov.br/bitstream/1/4327/1/Texto%20para%20discuss%C3%A3o%202012.1606654842> . Acesso em 26 ago 2019.

Agência Nacional de Petróleo, G. N. e B. (2019). **Sistema de Consultas Públicas**. Disponível em: <<http://app.anp.gov.br/anp-cpl-web/public/biodiesel/consulta-produtores/consulta.xhtml>>. Acesso em: 09 de mai, 2019. Disponível em: <<http://app.anp.gov.br/anp-cpl-web/public/biodiesel/consulta-produtores/consulta.xhtml>>.

Agência Nacional do Petróleo, G. N. e B. (2019). **Sistema de Levantamento de Preços**. Disponível em: <<https://preco.anp.gov.br/>>. Acesso em 01 mai 2019.

ANDERSON, H. R. et al. **Meta-analysis of time-series studies and panel studies of Particulate Matter (PM) and Ozone (O3)**. Copenhagen: WHO, 2004.

ANDERSON, J., ANDERSON, C.D. **Electric and Hybrid Cars: A History**. McFarland & Co., London, UK. 2010.

ANDRADE, CARLOS EDUARDO SANCHES DE; LUAL, ILTON CURTY JR.; D'AGOSTO, M. **Avaliação e mitigação das emissões de dióxido de carbono nos modos de transportes de passageiros rodoviário e metroviário: Aplicação na cidade do Rio de Janeiro**. XVII SEMEAD. Seminários em Administração. Anais. São Paulo: 2014. Disponível em: <<http://sistema.semead.com.br/17semead/resultado/trabalhosPDF/177.pdf>>. Acesso em: 27 dez 2018.

ANDRADE, E. T., de Carvalho, S. R. G., & de Souza, L. F.. **Programa do Proálcool e o etanol no Brasil**. *Engevista*, 11(2), 2009.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES PÚBLICOS (ANTP). **Custos dos serviços de transporte público por ônibus: método de cálculo**. São Paulo: ANTP, 2017. Disponível em: <http://files.antp.org.br/2017/8/21/1.-metodo-de-calculo—final-impresso.pdf>>. Acesso em: 9 maio 2019.

AZEVEDO, André Nunes. **A reforma Pereira Passos: uma tentativa de integração conservadora**. *Tempos Históricos*, v. 19, p. 151–183, 2015. Disponível em: <

http://www.forumrio.uerj.br/documentos/revista_10/10-AndreAzevedo.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2019.

BARASSA, E. **Trajatória tecnológica do veículo elétrico: atores, políticas e esforços tecnológicos no Brasil**. Dissertação (mestrado), Campinas – Curso de Pós-Graduação em Política Científica e Tecnológica, Universidade Estadual de Campinas, Departamento de Política Científica e Tecnológica. 2015.

BARBIERI, Alisson Flávio. **Mudanças climáticas, mobilidade populacional e cenários de vulnerabilidade para o Brasil**. Revista Interdisciplinar de Mobilidade Humana, v. 19, n. 36, p. 95–112, 2011.

BARBIERI, Alisson Flávio. **Transições Populacionais E Vulnerabilidade Às Mudanças Climáticas No Brasil**. Redes, v. 18, n. 2, p. 193–213, 2013.

BARBOSA, F. C.. **Biodiesel Use in Transit Fleets - A Summary of Brazilian Experiences**. SAE Technical Paper 2012-36-0149, 2012.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. Lisboa: Edições 70, 2006.

BARRETO, L. V.; FREITAS, A. C. S.; PAIVA, L. C. (2009). **Sequestro de carbono**. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Brasil. 10p.

BARROS, GERALDO S. C; ALVES, Rogerio A. e OSAKI, Mauro. **Análise dos custos econômicos do programa do biodiesel no Brasil**. In: Porto Alegre: [s.n.], 2009. Disponível em: <<https://www.cepea.esalq.usp.br/br/documentos/texto/analise-dos-custos-economicos-do-programa-do-biodiesel-no-brasil-a-artigo-publicado-no-xxvii-congresso-da-sober-2009.aspx>>. Acesso em: 9 maio 2019.

BERTOLINI, Luca, le Clercq, Frank, Straatemeier, Thomas. **Urban Transportation Planning in Transition**. Transport Policy, Volume 15, Issue 2, pp 69-72, 2008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0967070X07001072?via%3Dihub>. Acesso em 20 jan. 2020.

BNDES. Banco Nacional do Desenvolvimento Economico e Social. BNDES Finem - Meio Ambiente. **Ônibus elétricos, híbridos ou com tração elétrica e máquinas/equipamentos com maiores índices de eficiência energética e/ou redução de emissão de gases de efeito estufa**. 2020. Disponível em: <<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/bndes-finem-onibus-hiridos-eletricos-maquinas-eficientes>>. Acesso em: 05 jan 2020.

BOMTEMPO, J. V.; ALVES, F. C. **Innovation dynamics in the biobased industry**. Chemical and Biological Technologies in Agriculture, v. 1, n. 1, p. 4–9, 2014.

BRASIL, Ministério dos Transportes, Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes. **Transportes no Rio de Janeiro**. Grupo de Estudos para a Integração da Política de Transportes. Rio de Janeiro, mai de 1995. Disponível em: <<http://www.geipot.gov.br/cadernos/1999/riodejaneiro/rj-99.htm#rodo>>. Acesso em: 05 de abr de 2019.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução CONAMA nº 403 de 11 de novembro de 2008. Dispõe sobre nova fase (PROCONVE P7) de exigências do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Pesados e dá outras providências.** Publicada no D.O.U, 220, de 12 de novembro de 2008, Seção 1, pag. 92. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=591>>. Acesso em 27 de maio de 2018.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução CONAMA nº 415 de 24 de setembro 2009. Dispõe sobre nova fase (PROCONVE L6) de exigências do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Leves e dá outras providências.** Publicada no D.O.U, nº 184, de 25 set 2009, págs. 53-54. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=615>>. Acesso em 27 de maio de 2018.

BRASIL. **Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento.** Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/proclima/wp-content/uploads/sites/36/2013/12/declaracao_rio_ma.pdf.

BRASIL. Decreto nº 9.308, de 15 de março de 2018. **Dispõe sobre A Definição das Metas Compulsórias Anuais de Redução de Emissões de Gases Causadores do Efeito Estufa Para A Comercialização de Combustíveis de Que Trata A Lei Nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017.** Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/decreto/D9308.htm>. Acesso em: 16 maio 2019.

BRASIL. Lei 9.478, de 6 de agosto de 1997. **Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo e dá outras providências.** Brasília: Diário Oficial da União, 1997.

BRASIL. Lei nº 12.587, de 03 de janeiro de 2012. **Institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana, 2012.** Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112587.html. Acesso em: 10 fev. 2019.

BRASIL. **Lei no 12.587, de 3 de janeiro de 2012.** Diário Oficial da União. Pag. 1 - Seção 1. 04 de jan de 2012.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Usos de biodiesel no Brasil e no mundo. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.** Gabinete da Ministra. Mapa/ACE. Brasília, jun de 2015.

BRASIL. Ministério da Infraestrutura – CONTRAN. **Resolução CONAMA nº 734 de 05 de junho de 2018. Institui a Autorização Específica – AE para os veículos e/ou combinações de veículos equipados com tanques que apresentem excesso de até 5% (cinco por cento) nos limites de peso bruto total ou peso bruto total combinado, devido à incorporação da tolerância, com base em Resolução do CONTRAN.** Publicada no D.O.U, 107, de 06 de junho de 2018, Seção 1, pag. 63.

Disponível em: <http://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/17527552/do1-2018-06-06-resolucao-n-734-de-5-de-junho-de-2018-17527452>. Acesso em 05 de maio de 2019.

BRAY, S. C., FERREIRA, E. R. e RUAS, D. G. G. **As políticas da agroindústria canavieira e o PROÁLCOOL no Brasil**. Marília: UNESP/Marília Publicações, 2000.

CANÇADO, E. D. et al. **The Impact of Sugar Cane - Burning Emissions on the Respiratory System of Children and the Elderly**. Environmental Health Perspectives, v. 114, n. 5, p. 725, 2006.

Cancelli, D. M. e Dias, N. L. (2014). **BRevê: uma metodologia objetiva de cálculo de emissões para a frota de veículos brasileira**. Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental, Edição especial:13–20.

CARTIER, Ruy et al. **Vulnerabilidade social e risco ambiental: uma abordagem metodológica para avaliação de injustiça ambiental**. Cadernos de Saúde Pública, v. 25, n. 12, p. 2695–2704, 2009. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-311X2009001200016&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt. Acesso em 18 out 2019.

CARVALHO, Carlos Henrique Ribeiro. **Mobilidade Urbana Sustentável: Conceitos, Tendências e Reflexões**. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), 2016. Disponível em: http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/Tds/td_2194.pdf. Acesso em 23 dez 2019.

CAVALCANTI, M.. **Ascensão do Gás Natural no Mercado de Combustíveis Automotivos no Brasil**. In 3 Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás–IBP, 2005.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade do ar no estado de São Paulo 2015**. São Paulo; 2016. 165p. ISSN 0103-4103. Disponível em: . Acesso em 10 de agosto de 2017.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade do ar no estado de São Paulo 2017**. São Paulo, 2018. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/wpcontent/uploads/sites/28/2018/05/relatorio-qualidade-ar-2017.pdf> Acesso em 17 de setembro de 2018.

CETESB. **Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo. 2002**. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. São Paulo, SP.

CHAN, C.C. **The State of the Art of Electric, Hybrid, and Fuel Cell Vehicles**. Proceedings of the IEEE, vol. 95, no. 4, pp. 704-718. 2007.

CONCEIÇÃO, G. W.. **A viabilidade técnica, econômica e ambiental da inserção do gás natural veicular em frotas do transporte coletivo urbano de passageiros**. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.

CONFALONIERI, Ulisses E. C.; MARINHO, Diana P.; BARATA, Martha M. L. **Vulnerabilidades em Matéria de Saúde Pública na Região Metropolitana do Rio de Janeiro na Perspectiva das Mudanças Climáticas.** Megacidades, Vulnerabilidades e Mudanças Climáticas: Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: CST/INPE e NEPO/UNICAMP, 2011. p. 200–225. Acesso em 8 dez 2019.

Consoni, F. L., Oliveira, A. D., Barassa, E., Martínez, J., Marques, M. D. C., & Bermúdez, T. (2018). **Estudo de Governança e Políticas Públicas para Veículos Elétricos.** Brasília DF: Ministério da Indústria, Comercio Exterior e Serviços MDIC.

COSTA, M. D. S.. **Um índice de mobilidade urbana sustentável.** São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo, 2008.

COSTA, Renato Gama-Rosa; SILVA, Claudia G. Thaumaturgo Da; COHEN, Simone Cynamon. **A origem do caos – a crise de mobilidade no Rio de Janeiro e a ameaça à saúde urbana.** Cadernos MetrÓpole, v. 15, n. 30, p. 411–431, 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2236-99962013000200411&lng=pt&tlng=pt>. Acesso em 10 dez 2019.

COWAN, R., HULTÉN, S.. **Escaping Lock-in: The Case of Electric Vehicle.** Technological Forecasting and Social Change, 1996, v. 53, pp. 61-79.

CRESWELL, J. **Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto.** Porto Alegre: Artmed, 2007.

D'AGOSTO, M. DE A. et al. **Análise da viabilidade da introdução do uso de combustível B20 na frota de ônibus do Município do Rio de Janeiro.** Laboratório de Transporte de Carga da COPPE/UFRJ. 05 de mar de 2018.

D'AGOSTO, M. et al. **Comparative study of emissions from stationary engines using biodiesel made from soybean oil, palm oil and waste frying oil.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 70, p. 1376–1392, 01 abr. 2017.

DO RIO CALDEIRA, Teresa Pires. **Cidade de muros: crime, segregação e cidadania em São Paulo.** Editora 34, 2000.

DRUMM, F. C. et al. **Poluição atmosférica proveniente da queima de combustíveis derivados do petróleo em veículos automotores.** Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, - v. 18, nº 1 p. 66-78. 01 Abr 2014.

EBI, KRISTIE; LENDRUM, DIARMID E WYNS, Arthur. **The 1.5 Health Report.** Paris: [s.n.], 2015. Disponível em: <https://www.who.int/globalchange/181008_the_1_5_healthreport.pdf>. Acesso em: 9 mai 2019.

EGLER, Claudio A. G.; GUSMAO, Paulo P.. **Gestão costeira e adaptação às mudanças climáticas: o caso da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, Brasil.** RGCI, Lisboa , v. 14, n. 1, p. 65-80, mar. 2014. Disponível em

<http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1646-88722014000100006&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em 17 mar. 2020.
<http://dx.doi.org/10.5894/rgci310>.

EGLER, Claudio A.G.; GUSMÃO, Paulo P. **Tendências de uso e ocupação do território e a gestão metropolitana face às mudanças climáticas**. Megacidades, Vulnerabilidades e Mudanças Climáticas: Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: CST/INPE e NEPO/UNICAMP, 2011. p. 16–40.

Empresa de Pesquisa Energética (EPE). **RenovaBio: nota explicativa sobre a proposta de criação da política nacional de biocombustíveis**, Brasília: MME, 2017. p. 138. Disponível em:
<http://www.mme.gov.br/documents/36224/459938/Nota+Explicativa+RENOVABIO+-+Documento+de+CONSOLIDACAO+-+site.pdf/dc4b6756-d7ca-ab6a-4aac-226c4b8bf436>. Acesso em: dez. 2019.

EUROFORUM. **Draft paper: state of the art of research and development in the field of urban mobility**. European Research Forum for Urban Mobility, 2007. Disponível em: http://www.emta.com/IMG/pdf/SoA_FinalDraft_160207_FINAL.pdf. Acesso em: jan de 2019.

EVA REHFUESS, World Health Organization. Household Energy and Health WHO Library Cataloguing-in-Publication Data. Energy, p.42, 2006. Disponível em:
 <<https://www.who.int/airpollution/publications/fuelforlife.pdf>>. Acesso em: 9 maio 2019.

FARAH, Flavio. **Habitação e encostas**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT, 2003.

FAZAL, M. A., Haseeb, A. S. M. A., & Masjuki, H. H. (2010). **Comparative corrosive characteristics of petroleum diesel and palm biodiesel for automotive materials**. Fuel Processing Technology, 91(10), 1308–1315. Disponível em:
 <<https://doi.org/10.1016/J.FUPROC.2010.04.016>> Acesso em 02 mar 2019.

FERNANDES, Manoel do Couto; LAGÜÉNS, João Vicente Marques; NETTO, Ana Luiza Coelho. **O Processo de Ocupação por Favelas e sua Relação com os Eventos de 178 Deslizamentos no Maciço da Tijuca/RJ**. Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ, v. 22, p. 45–59, 1999. Disponível em:
 <<https://revistas.ufrj.br/index.php/aigeo/article/view/6208>>. Acesso em 4 fev 2019.

FERNANDES, Manoel Reginaldo. Tese de Doutorado. **Formulação de novos combustíveis base diesel: avaliação de desempenho e emissões**. 2011. Disponível em:
 <http://www.nupeg.ufrn.br/documentos_finais/teses_de_doutorado/teses/manoelreginaldo.pdf>. Acesso em: 9 maio 2019.

FETRANSPOR - Federação das Empresas de Transportes de Passageiros do Estado do Rio de Janeiro. **Biodiesel B20 - O Rio de Janeiro anda na frente**. Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2011.

FONTES, Fernando Antônio de Sant'Ana. **Sistematização de Iniciativas de Mobilidade Elétrica no Brasil**. Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. Brasília, 2018. Disponível em: <http://www.mdic.gov.br/images/REPOSITORIO/sdci/promob-e-sistematizacao-de-iniciativas-de-mobilidade-eletrica-no-brasil-2019.pdf>. Acesso em: 24 fev. 2020.

FREITAS, Camila Rizzini. **Análise da vulnerabilidade às mudanças climáticas associada à mobilidade populacional como instrumento de política pública na cidade do Rio de Janeiro**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Economia, Programa de Pós-Graduação em Políticas Públicas, Estratégias e Desenvolvimento, 2018.

GESTRAN. (2018). **Caminhão-tanque: entenda a legislação e as características**. Acesso em: 09 de mai de 2019. Disponível em: <<https://www.gestran.com.br/blog/o-que-e-caminhao-tanque-e-como-e-sua-legislacao>>.

GOES, T.; MARRA, R.; SILVA, G. S. **Setor sucroalcooleiro no Brasil: situação atual e perspectivas**. Revista de Política Agrícola, Brasília, ano XVII, nº2, abr./mai./jun., 2008. p. 39-51.

GOETTEMOELLER, J; GOETTEMOELLER, A. **Sustainable ethanol: Biofuels, biorefineries, cellulosic biomass, flex-fuel vehicles and sustainable farming for energy independence**. Maryville: Prairie Oak Publishing, 2007.

GONÇALVES, Fernando. **Seminário sobre fraudes e corrupção**. Cadernos da Controladoria, Ano I, nº 3. nov 1995.

GOUVEIA N, DE FREITAS CU, MARTINS LC, MARCILIO IO. **Respiratory and cardiovascular hospitalizations associated with air pollution in the city of São Paulo, Brazil**. Cad Saude Publica. 2006 Dez; 22(12):2669-77.

GUDMUNDSSON, H. **Sustainable transport and performance indicators**. Em R.E. Hester and R.M. Harrison (ed.) Transport and Environment, Issues in Environmental Science and Technology. The Royal Society of Chemistry, p. 35-64, Cambridge, U.K, 2004.

GÜNTER, H. (2006). **Pesquisa qualitativa versus pesquisa quantitativa: esta é a questão?**. Psicologia: teoria e pesquisa, 22(2), 201-209. Disponível em . Acesso em 15 mai. 2020.

GUSMÃO, R.. **Avaliação do Proálcool e suas Perspectivas**. Sociedade de Produtores de Açúcar e de Álcool. São Paulo, 1985.

HAMRA, G. B.; GUHA, N.; COHEN, A.; LADEN, F.; RAASCHOU-NIELSEN, O.; SAMET, J. M.; VINEIS, P.; FORASTIERE, F.; SALVIDA, P.; YORIFUJI, T.; LOOMIS, D. **Outdoor Particulate Matter Exposure and Lung Cancer: A Systematic Review and Meta-Analysis**. Environmental Health Perspectives. DOI:10.1289/ehp.1408092. National Institute of Environmental Health Sciences. 2014. Disponível em: <<https://dash.harvard.edu/bitstream/handle/1/12987239/4154221.pdf?sequence=1>>.

Acesso em: 29 jun 2019.

HARVEY, David. **O direito à cidade**. Lutas sociais, n. 29, p. 73-89, 2012.

HOGAN, Daniel Joseph. **Mobilidade populacional, sustentabilidade ambiental e vulnerabilidade social**. Revista Brasileira de Estudos de População, v. 22, n. 2, p. 323–338, 2005. Disponível em:
http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-30982005000200009&lang=pt .

HOYER, K. **The history of alternative fuels in transportation: The case of electric and hybrid cars**. Utilities Policy, 16(2), pp.63-71. 2008.

IARC - International Agency for Research on Cancer. **Outdoor air pollution a leading environmental cause of cancer deaths**. Lyon: WHO, 2013. Disponível em:
 < http://www.iarc.fr/en/media-centre/iarcnews/pdf/pr221_E.pdf > Acesso em 25 de abril de 2017.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010a. Disponível em:
<https://censo2010.ibge.gov.br/>.

_____. **Perfil dos municípios brasileiros**. Rio de Janeiro: IBGE, 2018. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=2101668>.

_____. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010c. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/?id_pesquisa=40.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **CO2 Emissions – From Fuel Combustion**. 2015a. Disponível em: . Acesso em: 3 out. 2016.

INTERNATIONAL Energy Agency. **Energy Balances of non-OECD Countries 2000-2001**. Paris, OECD/IEA, 2003.

IPCC. **Global Warming of 1.5 C**. An IPCC Special Report on the Impacts of Global Warming of 1.5 C Above Pre-Industrial Levels and Related Global Greenhouse Gas Emission Pathways, in the Context of Strengthening the Global Response to the Threat of Climate Change, Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty. 2018. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/sr15/>> Acesso em 12 jul 2019.

KEEBLE, B. R. The **Brundtland Report: “Our Common Future”**. Medicine and War, v. 4, n. 1, p. 17–25, 1988.

KUMAR, S., Chaube, A., & Jain, S. K. (2012). **Sustainability issues for promotion of Jatropha biodiesel in Indian scenario: A review**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16(2), 1089–1098. Disponível em:
 <<https://doi.org/10.1016/J.RSER.2011.11.014>>. Acesso em 02 mar 2019.

LADEIRA, M. C. M. ; FERRONATTO, L. G. ; NODARI, Cristine Tessele ; LINDAU, L.A.. **Sustentabilidade dos Transportes e sua Percepção**. In: XXI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2007, Rio de Janeiro. Panorama Nacional da Pesquisa em Transportes 2007. ANPET, v. 21. Rio de Janeiro, 2007.

LANDRIGAN ET AL. **The Lancet Commission on pollution and health**. The Lancet, v. 6736, nº 17, p. 1–51. 19 out 2017.

LEFEBVRE, Henri. **O direito à cidade**. São Paulo: Centauro, 2001.

LITMANN, T. e BURWELL, D. **Issues in Sustainable Transport**. Victoria Transport Policy Institute, Victoria, Canada. 2003. Disponível em: http://www.vtpi.org/sus_iss.pdf. Acesso em: 20 mai 2019.

MAC-KNIGHT, Vivian, Young, Carlos Eduardo Frickmann. **Custo da poluição gerada pelos ônibus urbanos na RMS**. Encontro Nacional de Economia, v. 34, 2006.

MAIA, R. R. D. S.. **Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB): implicações de uma análise custo benefício**. Dissertação (Mestrado). Departamento de Economia da Universidade de Brasília (UnB). Disponível em: https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/12004/1/2012_RicardoRamosdaSilvaMaia.pdf. Acesso em 23 mai 2019.

MALTA, M. M.. **Economia Política dos Preços Internacionais do Petróleo**. In: III Encontro Nacional de Economia Política. Anais do III Encontro Nacional de Economia Política. Niterói: Editora Da Universidade Federal Fluminense, 1998. v. 1. p. 245-259. Niterói, 1998.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Usos de biodiesel no Brasil e no mundo**. 1ª ed. Brasília, jun de 2015.

MARICATO, Ermínia. **Urbanismo na Periferia do Mundo Globalizado: Metrôpoles Brasileiras**. São Paulo em Perspectiva, 14(4): 21-33, 2000.

MARTINS, Lourdes Conceição et al. **The effects of air pollution on cardiovascular diseases: lag structures**. Rev. Saúde Pública, São Paulo, v. 40, n. 4, p. 677-683, Aug. 2006 . Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/S0034-89102006000500018> > Acesso em 02 jun 2019.

MARTINS, Rafael D’Almeida; FERREIRA, Leila da Costa. **Oportunidades e barreiras para políticas locais e subnacionais de enfrentamento das mudanças climáticas em áreas urbanas: evidências de diferentes contextos**. Ambiente & sociedade, v. 13, n. 2, p. 223–242, 2010. Disponível em: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-79957760581&origin=inward&txGid=95b4449bedb85a7ea0a3d10c2326ec1c> .

MATTEI, L. F. **Programa Nacional para Produção e Uso do Biodiesel no Brasil (PNPB): trajetória, situação atual e desafios**. Revista Econômica do Nordeste, Fortaleza, v. 41, n. 4, p. 731-740, out./dez. 2010.

MELO, Isabela. **As Crises do Petróleo e Seus Impactos Sobre a Inflação do Brasil**. Departamento de Economia da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: http://www.econ.puc-rio.br/uploads/adm/trabalhos/files/Isabela_Esterminio_de_Melo.pdf. Acesso em: 14 ago 2019.

MICHELLON, E., Santos, A. A. L., & Rodrigues, J. R. A. (2008). **Breve descrição do Proálcool e perspectivas futuras para o etanol produzido no Brasil**.

MILANEZ, Artur Yabe et al. **O Acordo de Paris e a transição para o setor de transportes de baixo carbono: o papel da Plataforma para o Biofuturo. BNDES Setorial: biocombustíveis, Rio de Janeiro**, n. 45, p. 285-340, mar. 2017. Disponível em: <<http://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/11756>>. Acesso em: 04 novembro 2019.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Epidemiológicas e morbidade. Disponível em < Acesso em: 01 ago. 2017.

Ministério das Cidades. Brasília, 2012. Disponível em: <http://www.emdec.com.br/eficiente/repositorio/6489.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2020.

Ministério Público Federal (MPF). **O “Escândalo da Mandioca”**. Disponível em: <http://www.mpf.mp.br/regiao5/atuacao/memoria-e-acao/escandalo-da-mandioca>. Acesso em: 12 jan. 2020.

MOUETTE et al. (2019). **Costs and emissions assessment of a Blue Corridor in a Brazilian reality: The use of liquefied natural gas in the transport sector**. Science of the Total Environment. 668.

MOURELO, A.C.A., **Un Sistema de indicadores para avanzar en la movilidad sostenible**, in: Congreso de Ingenieria del Transport, p. 171-180. Santander, Espanha, 2002.

MOWERY, D. C. e ROSENBERG, N. **Trajetórias da Inovação – mudança tecnológica nos Estados Unidos da América no século XX**. Clássicos da Inovação. Editora da Unicamp (original de 1998), Introdução e cap. 1. 2005.

MURRAY, C. J.; LOPEZ, A. D. **The Global Burden of Disease: a comprehensive assessment of mortality and disability from diseases, injuries and risk factors in 1990 and projected to 2020**. Boston: Harvard School of Public Health on behalf of the World Health Organization and the World Bank, 1996.

NARAI, U.; SALL, C. **Methodology for Valuing the Health Impacts of Air Pollution Discussion of Challenges and Proposed Solutions**. 2016. World Bank Group. Disponível em: <<http://documents.worldbank.org/curated/pt/832141466999681767/pdf/106607-WPADD-AUTHORS-ABSTRACT-PUB-DATE-PUBLIC.pdf>>. Acesso em 25 de abril de 2019.

NETTO, J. N.. **A saga do álcool: fatos e verdades sobre os 100 anos de história do álcool combustível em nosso país.** Novo Século Editora. Osasco, SP, 2007.

NOVO, Ana Luiza Andrade. **Perspectivas para o Consumo de Combustível no Transporte de Carga no Brasil: uma Comparação entre os Efeitos Estrutura e Intensidade no Uso Final de Energia do Setor.** Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Planejamento Energético, 2016.

NUNES-FERREIRA, Carlos Eduardo. **Barra da Tijuca: o presente do futuro.** E-Papers, 2014.

OCTEL. (2005). **Impact of Biodiesel on Fuel System Component Durability.** FTC Technical Report CRC no AVFL-2a. NREL/TP-540-39130. Disponível em: <https://www.nrel.gov/docs/fy06osti/39130.pdf>. Acesso em: 02 jan. 2019.

OLIVEIRA, Karoline T. de; SILVA, José Paulo Vicente e DUARTE, Ana Júlia Calazans. **Despejo de esgoto, poluição marinha, qualidade de vida e saúde: o caso do emissário submarino da Barra da Tijuca.** EPSJV, 2010.

OMS. Organização Mundial da Saúde. **CID-10 Classificação Estatística Internacional de Doenças e Problemas Relacionados à Saúde.** 10a rev. São Paulo: Universidade de São Paulo; 2007. vol.1.

OPAS, OMS Brasil. **OMS divulga estimativas nacionais sobre exposição à poluição do ar e impacto na saúde.** 2016. Disponível em: https://www.paho.org/bra/index.php?option=com_content&view=article&id=5249:oms-divulgaestimativas-nacionais-sobre-exposicao-a-poluicao-do-ar-e-impacto-na-saude&Itemid=839 Acesso em 28 set 2018.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Health in the Green Economy.** Suíça: [s.n.], 2011. Disponível em: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/70913/9789241502917_eng.pdf;jsessionid=6F5D3517D1180D8E1E6ED7710FB18AA7?sequence=1. Acesso em: 9 maio 2019.

OSTRO, B. **Outdoor air pollution: assessing the environmental burden of disease at national and local levels.** Geneva: WHO, 2004 (WHO Environmental Burden of Diseases Series, n. 5).

OURTÚZAR S., Juan de Dios e Willumsen, Luis G. **Modelling Transport,** 2nd ed., John Wiley & Sons Ltd. p. 389-397. Inglaterra, 1994.

PETROBRAS. (2019). **Composição de Preços do Diesel.** Disponível em: <http://www.petrobras.com.br/pt/produtos-e-servicos/composicao-de-precos-de-venda-ao-consumidor/diesel/>. Acesso em 01 mai 2019.

QUEIROZ, H., IOOTTY, M., BOMTEMPO, J. V., Almeida, E., & Bicalho, R. G. (2016). **Economia Da Energia.** Elsevier Brasil. São Paulo, 2016.

RICKE, Katharine, DROUET, Laurent, CALDEIRA, Ken & TAVONI, Massimo. Country-level social cost of carbon. *Nature Climate Change*, v. 8, p. 895–900, 2018.

RIO DE JANEIRO, Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro. Legislação Ambiental Municipal. Disponível em: <<http://conhecimento.tjrj.jus.br/documents/10136/1344808/prefeituras.pdf?v14>>. Acesso em: 02 dez. 2019.

_____. DATARIO. Mapa dos bairros do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.data.rio/datasets/fd187b5936214e9086be4e2643f36c62>> Acesso em: 15 jan 2020.

_____. Decreto Rio nº 44.210. Rio de Janeiro, 2018. Diário Oficial do Município. nº 198, p. 20, 09 jan 2018.

_____. Informações sobre a transparência dos transportes. Disponível em: <<http://www.rio.rj.gov.br/web/transparenciamobilidade/>>. Acesso em 15 fev 2020.

_____. Lei Complementar nº 111 de 1º de fevereiro de 2011. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/plano-diretor-rio-de-janeiro-rj>>. Acesso em 20 jan 2020.

_____. Objetivos da Política Municipal sobre Mudança do Clima e Desenvolvimento Sustentável: Disponível em: <<http://www.rio.rj.gov.br/web/smac/exibeconteudo?id=2812818>>. Acesso em 15 jan 2019.

_____. Plano de Mobilidade Urbana Sustentável da Cidade do Rio de Janeiro, 2015. Disponível em set 2015. Disponível em: <<https://www.rio.rj.gov.br/web/pmus>>. Acesso em 12 mar 2020.

_____. Plano diretor de transporte urbano da região metropolitana do Rio de Janeiro. Governo do Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <https://setrerj.org.br/wp-content/uploads/2017/07/175_pdtu.pdf>. Acesso em 12 mar 2020.

_____. Decreto Rio no 46.079. Rio de Janeiro, 2019. Diário Oficial do Município. nº 60, p. 6-6, 12 jun 2019.

_____. Decreto Rio no 46.081. Rio de Janeiro, 2019. Diário Oficial do Município. nº 60, p. 6-7, 12 jun 2019.

_____. Lei Municipal no 5.248. Rio de Janeiro, 2011b. Disponível em: <<http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/148105/DLFE-260353.pdf/LEIMUN5.2.4.8.2.0.1.1.GEE.pdf>>. Acesso em: 27 dez 2018.

_____. Decreto Rio no 44.399. Rio de Janeiro, 2018. Diário Oficial do Município. nº 19, p. 09, 12 abr 2018.

_____. Regulamentação do credenciamento das Provedoras de Redes de Compartilhamento (PROVER) para a exploração de atividades de transporte

individual de utilidade pública. Disponível em: <
<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=358910>>. Acesso em 26 nov 2019.

RODRIGUES, Juciano Martins. Condições de mobilidade urbana e organização social do território. Rio de Janeiro: Transformações na ordem urbana. Rio de Janeiro: Letra Capital: Observatório das Metrôpoles, 2015. p. 580.

ROOS, B. C.. **Economia do Petróleo e Desenvolvimento: estudo exploratório sobre as perspectivas do pré-sal brasileiro** (Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte). Rio Grande do Norte, 2013.

ROSER, M. **Energy production & changing energy sources**. Our world in data. 2015. Disponível em: <<https://ourworldindata.org/energy-production-and-changing-energy-sources>>. Acesso em: 04 novembro 2019.

ROTHMAN KJ AND GREENLAND S. **Modern Epidemiology**, 2nd Edition. Chapter 21, 401-32. Lippincott-Raven Publishers, Washington, 1998.

SCANIA. **Scania buses e coaches**. II Seminário Internacional Mobilidade a Gás Natural. 22 nov. 2019. Disponível em:
www.fiesp.com.br/arquivodownload/?id=239154. Acesso em: 20 Jan 2020.

SECRETARIA MUNICIPAL DE MEIO AMBIENTE (SMAC). **Estratégia de Adaptação às Mudanças Climáticas da Cidade do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <
http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/6631312/4179912/ESTRATEGIA_PORT.pdf
 >. Acesso em: 20jan 2020.

Seroa da Motta, R. et al. **Financing Forest Protection with Integrated REDD+ Markets in Brazil**. In: Buchholz, W.; Markandya, A.; Rübhelke, D.; Vögele, S.. (Org.). Ancillary Benefits of Climate Policy: New Theoretical Developments and Empirical Findings. 1ed.Heidelberg: Springer, 2019, v. 1, p. 1-345.

SERRANO, Franklin. **Relações de poder e a política macroeconômica americana de Bretton Woods ao padrão dólar flexível**. In: FIORI, José Luís (Org.). O poder americano. p. 190-204. Petrópolis: Vozes, 2004.

SILVA, Gabriela da Costa. **Sustentabilidade ambiental na ocupação urbana da Barra da Tijuca na cidade do Rio de Janeiro**. 2007.

SILVA, Gabriela. **O processo de ocupação urbana da Barra da Tijuca (RJ): problemas ambientais, conflitos socioambientais, impactos ambientais urbanos**. PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção, v. 1, n. 1, p. 65-93, 2006.

SILVA, L. M. D.. **Atuação dos contadores e auditores na descoberta e na apuração de fraudes: uma reflexão**. Revista de Contabilidade do Mestrado em Ciências Contábeis da UERJ, 12(1). Rio de Janeiro, 2010.

SINGER, P. **Migrações internas: considerações teóricas sobre o seu estudo**. In: MOURA, H. (Org.). Migração interna: textos selecionados. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 1980 .

SZMRECSÁNYI, T. **Esboços de história econômica da ciência e da tecnologia**. In: Soares, L.C. Da Revolução Científica à Big (Business) Science. São Paulo: Hucitec/Eduff, 2001.

TÁVORA, F. L. (2011). **História e economia dos biocombustíveis no Brasil**. Brasília, DF: Senado Federal. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/publicacoes/estudos-legislativos/tipos-de-estudos/textos-para-discussao/td-89-historia-e-economia-dos-biocombustiveis-no-brasil>. Acesso em 22 jul. 2019.

TOLEDO, André Luiz Lopes. **Emissões de gases de efeito estufa na mobilidade urbana: O caso de Natal**. 2019. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

TORRES FILHO, Ermani T. **O papel do petróleo na geopolítica americana**. In: FIORI, José Luís. O poder americano. Petrópolis: Ed. Vozes. Rio de Janeiro, 2004.

ULIRSCH, G.V., BALL, L.M., KAYE W., SHY C.M., LEE, C.V., CRAWFORD-BROWN D, SYMONS M, HOLLOWAY T. **Effect of particulate matter air pollution on hospital admissions and medical visits for lung and heart disease in two southeast Idaho cities**. J Expo Sci Environ Epidemiol. 2007 Aug;17(5):478-87. Epub 2007 Feb 14.

UNIÃO BRASILEIRA DO BIODIESEL E BIOQUEROSENE. **Biodiesel no Brasil**. Brasília: [s.n.], 2017. Disponível em: <<https://www.ubrabilio.com.br/sites/1800/1891/PDFs/Apresentacoes/20170412BiodieselebioquerosenecompletaAb.pdf>>. Acesso em: 9 maio 2019.

VIAN, C. E. F. (2013). **Qualidade da matéria-prima**. Embrapa. Árvore do Conhecimento: Cana-de-Açúcar. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_57_22122006154840.html. Acessp em: 23 fev. 2020.

VIANNA, Guilherme Szczerbacki Besserman; YOUNG, Carlos Eduardo F. **Em Busca Do Tempo Perdido: Uma Estimativa Do Produto Perdido Em Trânsito No Brasil**. Revista de Economia Contemporânea. Journal of Contemporary Economics, v. 19, n. 3, p. 403–416, 2015. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rec/v19n3/1415-9848-rec-19-03-00403.pdf>>. Acesso em 10 dez 2019.

VLEK, C.. **Globalização, dilemas dos comuns e qualidade de vida sustentável: Do que precisamos, o que podemos fazer, o que podemos conseguir?** Estudos de Psicologia, 8(2), P. 221-234. Natal, 2003.

VORMITTAG, Evangelina M.P.A.; Rodrigues, Cristina Guimarães; André, Paulo Afonso de; Saldiva, Paulo Hilário Nascimento. **Assessment and Valuation of Public**

Health Impacts from Gradual Biodiesel Implementation in the Transport Energy Matrix in Brazil. *Aerosol and Air Quality Research*, 18: 2375–2382, Taiwan, 2018. Disponível em: <<https://aprobio.com.br/novosite/wp-content/uploads/2018/08/InstitutoSa%C3%BAdeeSustentabilidade.pdf>>. Acesso em: 9 mai 2019.

World Health Organization. **Ambient air pollution: a global assessment of exposure and burden of disease.** Public Health, Social and Environmental Determinants of Health Department, World Health Organization, Geneva, Switzerland (2016).

ZIVIN, J.C.; NEIDELL, M. **Environment, Health, and Human Capital.** *Journal of Economic Literature* V. 51(3), 689–730. <http://dx.doi.org/10.1257/jel.51.3.689> 689. 2013.. Disponível em: < https://gps.ucsd.edu/_files/faculty/graff-zivin/graffzivin_publications_2013b.pdf. Acesso em 25 de abril de 2019.

Anexo A
Cálculo dos custos em saúde

Cenário Basal
Todas as Fontes
MP_{2,5}
(X-X₀) = 7,23

Morbidade

Entre 0 e 4 anos

Doenças Respiratórias

BP = 22.286

$$RR = \exp [\beta (X - X_0)]$$

$$RR = \exp [0,00395 * 7,23]$$

$$RR = 2,718^{0,0285585}$$

$$RR = 1,029$$

$$FA = 0,028$$

$$E = FA * BP$$

$$E = 0,028 * 22.286$$

$$E = 628,08$$

$$\text{Custo} = 628 * 1.421,40$$

$$\text{Custo: R\$ 892.752,47}$$

Custo calculado para morbidade entre 0 e 4 anos para doenças respiratórias

Morbidade

Entre 40 e 59 anos

Doenças Respiratórias

BP = 46.412

$$RR = \exp [\beta (X - X_0)]$$

$$RR = \exp [0,00205 * 7,23]$$

$$RR = 2,718^{0,0148215}$$

$$RR = 1,0149$$

$$FA = 0,01468$$

$$BP = 46.412$$

$$E = FA * BP$$

$$E = 0,01468 * 46.412$$

$$E = 681$$

$$\text{Custo} = 681 * 1.421,40$$

$$\text{Custo: R\$ } 967.701,00$$

Custo calculado para morbidade entre 40 e 59 anos para doenças respiratórias

Morbidade

Entre 60 e 69 anos

Doenças Respiratórias

$$RR = \exp [\beta (X - X_0)]$$

$$RR = \exp [0,00363 * 7,23]$$

$$RR = 2,718^{0,0262449}$$

$$RR = 1,0265$$

$$FA = 0,0258$$

$$BP = 28.592$$

$$E = FA * BP$$

$$E = 0,0258 * 28.592$$

$$E = 737$$

$$\text{Custo} = 737 * 1.421,40$$

$$\text{Custo: R\$ } 1.047.571,80$$

Custo calculado para morbidade entre 60 e 69 anos para doenças respiratórias

Morbidade

Acima de 69 anos

Doenças Respiratórias

$$RR = \exp [\beta (X - X_0)]$$

$$RR = \exp [0,01050 * 7,23]$$

$$RR = 2,718^{0,075915}$$

$$RR = 1,0788$$

$$FA = 0,073$$

$$BP = 29.273$$

$$E = FA * BP$$

$$E = 0,073 * 29.273$$

$$E = 2.137$$

$$\text{Custo} = 2.137 * 1.421,40$$

$$\text{Custo: R\$ } 3.037.531,80$$

Custo calculado para morbidade acima 69 anos para doenças respiratórias

Morbidade

Entre 40 a 59 anos

Doenças Cardiovasculares

$$RR = \exp [\beta (X - X_0)]$$

$$RR = \exp [0,00133 * 7,23]$$

$$RR = 2,718^{0,0096159}$$

$$RR = 1,0097$$

$$FA = 0,0097$$

$$BP = 28.592$$

$$E = FA * BP$$

$$E = 1,0097 * 28.592$$

$$E = 277$$

$$\text{Custo} = 277 * 1.421,40$$

$$\text{Custo: R\$ } 393.727,80$$

Custo calculado para morbidade entre 40 a 59 anos para doenças cardiovasculares

Morbidade

Entre 60 a 69 anos

Doenças Cardiovasculares

$$RR = \exp [\beta (X - X_0)]$$

$$RR = \exp [0,00198 * 7,23]$$

$$RR = 2,718^{0,0143154}$$

$$RR = 1,0144$$

$$FA = 0,0142$$

$$BP = 28.592$$

$$E = FA * BP$$

$$E = 0,0142 * 28.592$$

$$E = 412$$

$$\text{Custo} = 412 * 1.421,40$$

$$\text{Custo: R\$ 585.616,80}$$

Custo calculado para morbidade entre 60 a 69 anos para doenças cardiovasculares

Morbidade

Acima de 69 anos

Doenças Cardiovasculares

$$RR = \exp [\beta (X - X_0)]$$

$$RR = \exp [0,00228 * 7,23]$$

$$RR = 2,718^{0,0164844}$$

$$RR = 1,0166$$

$$FA = 0,0163$$

$$BP = 29.273$$

$$E = FA * BP$$

$$E = 0,0163 * 29.273$$

$$E = 477$$

$$\text{Custo} = 477 * 1.421,40$$

$$\text{Custo: R\$ 678.007,80}$$

Custo calculado para morbidade entre acima de 69 anos para doenças cardiovasculares

Morbidade

Acima de 40 anos

Câncer

$$RR = \exp [\beta (X - X_0)]$$

$$RR = \exp [0,00862 * 7,23]$$

$$RR = 2,718^{0,0623226}$$

$$RR = 1,0643$$

$$FA = 0,0604$$

$$BP = 29.273$$

$$E = FA * BP$$

$$E = 0,0163 * 29.273$$

$$E = 6.298,33$$

$$\text{Custo} = 6.298,33 * 1.421,40$$

$$\text{Custo: R\$ } 8.952.447,40$$

Custo calculado para morbidade entre acima de 69 anos para câncer

Cálculo dos custos em saúde

Cenário Ônibus Elétricos

MP_{2,5}

$$(X-X_0) = 2,12$$

Morbidade

Entre 0 e 4 anos

Doenças Respiratórias

$$RR = \exp [\beta (X - X_0)]$$

$$RR = \exp [0,00395 * 2,12]$$

$$RR = 2,718^{0,0087295}$$

$$RR = 1,0088$$

$$FA = 0,0088$$

$$BP = 22.286$$

$$E = FA * BP$$

$$E = 0,0088 * 22.286$$

$$E = 196$$

$$\text{Custo} = 196 * 1.421,40$$

$$\text{Custo: R\$ } 278.594,40$$

Custo calculado para morbidade entre 0 e 4 anos para doenças respiratórias

Morbidade

Entre 40 e 59 anos

Doenças Respiratórias

$$RR = \exp [\beta (X - X_0)]$$

$$RR = \exp [0,00205 * 2,12]$$

$$RR = 2,718^{0,004346}$$

$$RR = 1,0043$$

$$FA = 0,0043$$

$$BP = 46.412$$

$$E = FA * BP$$

$$E = 0,0043 * 46.412$$

$$E = 199,6$$

$$\text{Custo} = 199,6 * 1.421,40$$

$$\text{Custo: R\$ 283.711,40}$$

Custo calculado para morbidade entre 40 e 59 anos para doenças respiratórias

Morbidade

Entre 60 e 69 anos

Doenças Respiratórias

$$RR = \exp [\beta (X - X_0)]$$

$$RR = \exp [0,00363 * 2,12]$$

$$RR = 2,718^{0,0076956}$$

$$RR = 1,0078$$

$$FA = 0,0077$$

$$BP = 28.592$$

$$E = FA * BP$$

$$E = 0,0077 * 28.592$$

$$E = 220$$

$$\text{Custo} = 220 * 1.421,40$$

$$\text{Custo: R\$ 312.708,00}$$

Custo calculado para morbidade entre 60 e 69 anos para doenças respiratórias

Morbidade

Acima de 69 anos

Doenças Respiratórias

$$RR = \exp [\beta (X - X_0)]$$

$$RR = \exp [0,00363 * 2,12]$$

$$RR = 2,718^{0,0076956}$$

$$RR = 1,0078$$

$$FA = 0,0077$$

$$BP = 28.592$$

$$E = FA * BP$$

$$E = 0,0077 * 28.592$$

$$E = 220$$

$$\text{Custo} = 220 * 1.421,40$$

$$\text{Custo: R\$ 312.708,00}$$

Custo calculado para morbidade entre 60 e 69 anos para doenças respiratórias

Morbidade

Entre 40 a 59 anos

Doenças Cardiovasculares

$$RR = \exp [\beta (X - X_0)]$$

$$RR = \exp [0,00133 * 2,12]$$

$$RR = 2,718^{0,0028196}$$

$$RR = 1,0028$$

$$FA = 0,0028$$

$$BP = 46.412$$

$$E = FA * BP$$

$$E = 0,0028 * 46.412$$

$$E = 130$$

$$\text{Custo} = 130 * 1.421,40$$

$$\text{Custo: R\$ 184.782,00}$$

Custo calculado para morbidade entre 40 e 59 anos para doenças cardiovasculares

Morbidade

Entre 60 a 69 anos

Doenças Cardiovasculares

$$RR = \exp [\beta (X - X_0)]$$

$$RR = \exp [0,00198 * 2,12]$$

$$RR = 2,718^{0,0041976}$$

$$RR = 1,0042$$

$$FA = 0,0042$$

$$BP = 28.592$$

$$E = FA * BP$$

$$E = 0,0042 * 28.592$$

$$E = 120$$

$$\text{Custo} = 120 * 1.421,40$$

$$\text{Custo: R\$ } 170.560,00$$

Custo calculado para morbidade entre 60 e 69 anos para doenças cardiovasculares

Morbidade

Acima de 69 anos

Doenças Cardiovasculares

$$RR = \exp [\beta (X - X_0)]$$

$$RR = \exp [0,00228 * 2,12]$$

$$RR = 2,718^{0,0048336}$$

$$RR = 1,0048$$

$$FA = 0,0048$$

$$BP = 29.273$$

$$E = FA * BP$$

$$E = 0,0048 * 29.273$$

$$E = 140$$

$$\text{Custo} = 140 * 1.421,40$$

$$\text{Custo: R\$ } 198.996,00$$

Custo calculado para morbidade acima de 69 anos para doenças cardiovasculares

Morbidade

Acima de 40 anos

Câncer

$$RR = \exp [\beta (X - X_0)]$$

$$RR = \exp [0,00862 * 2,12]$$

$$RR = 2,718^{0,0182744}$$

$$RR = 1,0184$$

$$FA = 0,0181$$

$$BP = 104.277$$

$$E = FA * BP$$

$$E = 0,0181 * 104.277$$

$$E = 1887$$

$$\text{Custo} = 1887 * 1.421,40$$

$$\text{Custo: R\$ 2.682.181,80}$$

Custo calculado para morbidade acima de 40 anos para câncer

Cálculo dos custos em saúde

Cenário Ônibus Gás Natural

MP_{2,5}

$$(X-X_0) = 1,893796$$

Morbidade

Entre 0 e 4 anos

Doenças Respiratórias

$$RR = \exp [\beta (X - X_0)]$$

$$RR = \exp [0,00395 * 1,893796]$$

$$RR = 2,718^{0,0074804942}$$

$$RR = 1,0075$$

$$FA = 0,0074$$

$$BP = 22,286$$

$$E = FA * BP$$

$$E = 0,0074 * 22.286$$

$$E = 165$$

$$\text{Custo} = 165 * 1.421,40$$

Custo: R\$ 234.531,00

Custo calculado para morbidade entre 0 e 4 anos para doenças respiratórias

Morbidade

Entre 40 e 59 anos

Doenças Respiratórias

$$RR = \exp [\beta (X - X_0)]$$

$$RR = \exp [0,00205 * 1,893796]$$

$$RR = 2,718^{0,0038822818}$$

$$RR = 1,0038$$

$$FA = 0,0039$$

$$BP = 46.412$$

$$E = FA * BP$$

$$E = 0,0039 * 46.412$$

$$E = 181$$

$$\text{Custo} = 181 * 1.421,40$$

Custo: R\$ 257.273,40

Custo calculado para morbidade entre 40 e 59 anos para doenças respiratórias

Morbidade

Entre 40 e 59 anos

Doenças Respiratórias

$$RR = \exp [\beta (X - X_0)]$$

$$RR = \exp [0,00205 * 1,893796]$$

$$RR = 2,718^{0,0038822818}$$

$$RR = 1,0038$$

$$FA = 0,0039$$

$$BP = 46.412$$

$$E = FA * BP$$

$$E = 0,0039 * 46.412$$

$$E = 181$$

$$\text{Custo} = 181 * 1.421,40$$

Custo: R\$ 257.273,40

Custo calculado para morbidade entre 40 e 59 anos para doenças respiratórias

Morbidade

Entre 60 e 69 anos

Doenças Respiratórias

$$RR = \exp [\beta (X - X_0)]$$

$$RR = \exp [0,00363 * 1,893796]$$

$$RR = 2,718^{0,00687447948}$$

$$RR = 1,0069$$

$$FA = 0,0069$$

$$BP = 28.592$$

$$E = FA * BP$$

$$E = 0,0069 * 28.592$$

$$E = 197$$

$$\text{Custo} = 197 * 1.421,40$$

Custo: R\$ 280.015,80

Custo calculado para morbidade entre 60 e 69 anos para doenças respiratórias

Morbidade

Acima de 69 anos

Doenças Respiratórias

$$RR = \exp [\beta (X - X_0)]$$

$$RR = \exp [0,01050 * 1,893796]$$

$$RR = 2,718^{0,019884858}$$

$$RR = 1,0201$$

$$FA = 0,0197$$

$$BP = 29.273$$

$$E = FA * BP$$

$$E = 0,197 * 29,273$$

$$E = 5766$$

$$\text{Custo} = 5766 * 1.421,40$$

Custo: R\$ 8.195.792,40

Custo calculado para morbidade acima de 69 anos para doenças respiratórias

Morbidade

Entre 40 a 59 anos

Doenças Cardiovasculares

$$RR = \exp [\beta (X - X_0)]$$

$$RR = \exp [0,00133 * 1,893796]$$

$$RR = 2,718^{0,00251874868}$$

$$RR = 1,0025$$

$$FA = 0,0025$$

$$BP = 46.412$$

$$E = FA * BP$$

$$E = 0,0025 * 46.412$$

$$E = 116,03$$

$$\text{Custo} = 116,03 * 1.421,40$$

Custo: R\$ 164.882,40

Custo calculado para morbidade entre 40 e 59 anos para doenças cardiovasculares

Morbidade

Entre 60 a 69 anos

Doenças Cardiovasculares

$$RR = \exp [\beta (X - X_0)]$$

$$RR = \exp [0,00198 * 1,893796]$$

$$RR = 2,718^{0,00374971608}$$

$$RR = 1,0037$$

$$FA = 0,0039$$

$$BP = 28.592$$

$$E = FA * BP$$

$$E = 0,0039 * 28.592$$

$$E = 112$$

$$\text{Custo} = 112 * 1.421,40$$

Custo: R\$ 159.196,80

Custo calculado para morbidade entre 60 e 69 anos para doenças cardiovasculares

Morbidade

Acima de 69 anos

Doenças Cardiovasculares

$$RR = \exp [\beta (X - X_0)]$$

$$RR = \exp [0,00228 * 1,893796]$$

$$RR = 2,718^{0,00431785488}$$

$$RR = 1,0043$$

$$FA = 0,0043$$

$$BP = 29.273$$

$$E = FA * BP$$

$$E = 0,0043 * 29.273$$

$$E = 126$$

$$\text{Custo} = 126 * 1.421,40$$

Custo: R\$ 179.096,40

Custo calculado para morbidade acima de 69 anos para doenças cardiovasculares

Morbidade

Acima de 69 anos

Câncer

$$RR = \exp [\beta (X - X_0)]$$

$$RR = \exp [0,00862 * 1,893796]$$

$$RR = 2,718^{0,01632452152}$$

$$RR = 1,0164$$

$$FA = 0,0161$$

$$BP = 104.277$$

$$E = FA * BP$$

$$E = 0,00862 * 104.277$$

$$E = 1679$$

$$\text{Custo} = 1679 * 1.421,40$$

Custo: R\$ 2.386.530,60

Custo calculado para câncer acima de 40 anos

Cenário B20

MP_{2,5}

$$(X-X_0) = 1,98008$$

Morbidade

Entre 0 e 4 anos

Doenças Respiratórias

$$RR = \exp [\beta (X - X_0)]$$

$$RR = \exp [0,00395 * 1,98008]$$

$$RR = 2,718^{0,007821316}$$

$$RR = 1,0078$$

$$FA = 0,0078$$

$$BP = 22.286$$

$$E = FA * BP$$

$$E = 0,0078 * 22.286$$

$$E = 174$$

$$\text{Custo} = 174 * 1.421,40$$

$$\text{Custo: R\$ } 247.323$$

Custo calculado para doenças respiratórias entre 0 e 4 anos

Morbidade

Entre 40 e 59 anos

Doenças Respiratórias

$$RR = \exp [\beta (X - X_0)]$$

$$RR = \exp [0,00205 * 1,98008]$$

$$RR = 2,718^{0,004059164}$$

$$RR = 1,0041$$

$$FA = 0,0041$$

$$BP = 46.412$$

$$E = FA * BP$$

$$E = 0,0041 * 46.412$$

$$E = 190$$

$$\text{Custo} = 190 * 1.421,40$$

$$\text{Custo: R\$ 270.066}$$

Custo calculado para doenças respiratórias entre 40 e 59 anos

Morbidade

Entre 60 e 69 anos

Doenças Respiratórias

$$RR = \exp [\beta (X - X_0)]$$

$$RR = \exp [0,00363 * 1,98008]$$

$$RR = 2,718^{0,0071876904}$$

$$RR = 1,0072$$

$$FA = 0,0072$$

$$BP = 28.592$$

$$E = 0,0072 * 28.592$$

$$E = 205$$

$$\text{Custo} = 205 * 1.421,40$$

$$\text{Custo: R\$ 291.387}$$

Custo calculado para doenças respiratórias entre 60 e 69 anos

Morbidade

Acima de 69 anos

Doenças Respiratórias

$$RR = \exp [\beta (X - X_0)]$$

$$RR = \exp [0,0105 * 1,98008]$$

$$RR = 2,718^{0,02079084}$$

$$RR = 1,021$$

$$FA = 0,0206$$

$$BP = 29.273$$

$$E = 0,0206 * 29.273$$

$$E = 603$$

$$\text{Custo} = 603 * 1.421,40$$

$$\text{Custo: R\$ 857.104}$$

Custo calculado para doenças respiratórias acima de 69 anos

Morbidade

Entre 40 e 59 anos

Doenças Cardiovasculares

$$RR = \exp [\beta (X - X_0)]$$

$$RR = \exp [0,00133 * 1,98008]$$

$$RR = 2,718^{0,0026335064}$$

$$RR = 1,0026$$

$$FA = 0,0026$$

$$BP = 46.412$$

$$E = 0,0026 * 46.412$$

$$E = 120$$

$$\text{Custo} = 120 * 1.421,40$$

$$\text{Custo: R\$ 170.568}$$

Custo calculado para doenças cardiovasculares entre 40 e 59 anos

Morbidade

Entre 60 e 69 anos

Doenças Cardiovasculares

$$RR = \exp [\beta (X - X_0)]$$

$$RR = \exp [0,00198 * 1,98008]$$

$$RR = 2,718^{0,0039205584}$$

$$RR = 1,0039$$

$$FA = 0,0039$$

$$BP = 28.592$$

$$E = 0,0039 * 28.592$$

$$E = 112$$

$$\text{Custo} = 112 * 1.421,40$$

$$\text{Custo: R\$ 159.196,80}$$

Custo calculado para doenças cardiovasculares entre 60 e 69 anos

Morbidade

Acima de 69 anos

Doenças Cardiovasculares

$$RR = \exp [\beta (X - X_0)]$$

$$RR = \exp [0,00228 * 1,98008]$$

$$RR = 2,718^{0,0045145824}$$

$$RR = 1,0045$$

$$FA = 0,0045$$

$$BP = 29.273$$

$$E = 0,0045 * 29.273$$

$$E = 132$$

$$\text{Custo} = 132 * 1.421,40$$

$$\text{Custo: R\$ 187.624,80}$$

Custo calculado para doenças cardiovasculares entre 60 e 69 anos

Morbidade

Acima de 40 anos

Câncer

$$RR = \exp [\beta (X - X_0)]$$

$$RR = \exp [0,00862 * 1,98008]$$

$$RR = 2,718^{0,0170682896}$$

$$RR = 1,017$$

$$FA = 0,0167$$

$$BP = 104.277$$

$$E = 0,0167 * 104.277$$

$$E = 1741$$

$$\text{Custo} = 1741 * 1.421,40$$

$$\text{Custo: R\$ 2.474.657,40}$$

Custo calculado para câncer acima de 40 anos

Apêndice A
POLÍTICAS PÚBLICAS BRASILEIRAS DE ELETRIFICAÇÃO VEICULAR

AÇÕES INDIRETAS PARA A PROMOÇÃO DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS		
Instituição/agência	Propósitos	Detalhamento e resultados
Programa de Controle da Poluição do Ar para Veículos Automotores (PROCONVE) (1986 -)	Estabelece prazos, limites máximos de emissões e determina padrões Tecnológicos mínimos para veículos automotores, nacionais e importados.	<ul style="list-style-type: none"> - Define os primeiros limites de emissões para veículos, com isso, promove a melhora da qualidade do ar nas grandes cidades. - Força a readequação e a introdução de novas tecnologias (fabricantes de veículos e de autopeças).
Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) (2008 -)	Oficializa o compromisso voluntário do Brasil junto à Convenção das Nações Unidas sobre Mudança do Clima.	<ul style="list-style-type: none"> - Estabelece metas para a redução de emissões de gases de efeito estufa; - Proporciona visão de conjunto aos atores do Sistema Nacional de Inovação e Produção; - Serve de base para desenvolver e implementar outras políticas públicas que visam o desenvolvimento tecnológico, eficiência energética, proteção do meio ambiente e desenvolvimento de novos setores econômicos ligados à economia de baixo carbono.
Programa de Etiquetagem Veicular (2008 -)	Fornecer informações sintetizadas ao consumidor, visando informá-lo e conscientizá-lo em relação ao desempenho dos produtos no que tange à eficiência energética e à	<ul style="list-style-type: none"> - Possibilita a comparação de produtos (veículos); - Amplia a conscientização do consumidor; - Estimula a homogeneização dos padrões

	contribuição ao meio ambiente, com a economia de combustível.	técnicos dos veículos em relação à eficiência energética e ao consumo de combustíveis
Inovar Auto (2013-2017)	Apoiou a inovação no setor automobilístico, visando ampliar a segurança, a proteção ao meio ambiente, a eficiência energética e a qualidade dos veículos	<ul style="list-style-type: none"> - Promoveu a eficiência energética nos motores produzidos no Brasil; - Promoveu a redução das emissões dos novos modelos de veículos no Brasil; - Possibilitou investimentos em novas estruturas de P&D; - Estimulou investimentos na ampliação e/ou readequação da capacidade produtiva (novas fábricas e/ou linhas de montagem).
AÇÕES DIRETAS PARA A PROMOÇÃO DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS		
Programa BNDES Fundo Clima (2011 -)	Disponibiliza recursos financeiros para apoiar projetos, estudos e empreendimentos que visem a mitigação da mudança do clima e a adaptação à mudança do clima e dos seus efeitos (modalidade Reembolsável)	<ul style="list-style-type: none"> - Possibilita o financiamento de diversas atividades ligadas à temática das mudanças climáticas e seus efeitos, assim, apresenta possibilidade de financiamento a atividades relacionadas aos VEs no Brasil; - Fornece crédito para a implementação da produção em território nacional (compra de equipamentos e de componentes dos VEs); - Destinada principalmente aos VEs pesados (ônibus).
Aportes a eventos científicos e técnicos	Financiou parcialmente a realização de eventos	- Contribuiu com a ampliação do

(2005-2011)	científicos e técnicos sobre os VE`s	conhecimento do setor e sobre o setor; - Criou um ambiente propício ao estabelecimento de relações entre os atores do Sistema Nacional de Inovação.
FUNTEC (2006-2018)	Estabelece o segmento dos VEs como uma das áreas tecnológicas de interesse do Fundo, com isso, torna as atividades relacionadas aos VEs elegíveis aos recursos não Reembolsáveis.	- Financiamento de projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) relacionados aos VEs (ex., apoio fornecido ao Projeto da montadora nacional de veículo elétrico de alto desempenho, em parceria com o CPqD).
Programa BNDES de Sustentação do Investimento (2011-2015)	Disponibilizou crédito para atividade econômica.	No período foi encontrado um projeto relacionado ao desenvolvimento de tecnologia de motores elétricos pela indústria nacional de motores.
Inova Energia (2013 -)	Programa de fomento à inovação e ao aprimoramento da integração dos instrumentos de apoio disponibilizados pela FINEP, BNDES e ANEEL.	- Ampliação da coordenação das ações de fomento entre as instituições públicas; - Possibilita o direcionamento do desenvolvimento tecnológico uma vez que os aportes são feitos a partir das linhas temáticas estabelecidas pelo edital; - Aumenta a disponibilidade de recursos à atividade de P&D; - Possibilita a criação de consórcios, parcerias e cooperações entre empresas e entre empresas e

		instituições de pesquisa.
Projeto de pesquisa CNPq (2003 -)	Financiamento de projetos de pesquisa, como foco nas universidades e nos institutos de pesquisa.	- Amplia o conhecimento sobre o setor e suas tecnologias; - Possibilita a criação de mão-de-obra Qualificada.
Projeto de pesquisa FINEP (2010 -)	Financiamento de projetos de pesquisa, nas modalidades reembolsáveis e não Reembolsáveis.	- Promove o desenvolvimento de tecnologias atreladas aos VEs por meio do financiamento dos projetos de pesquisa; - Possibilita o fortalecimento de centros de pesquisa; - Financia a criação de redes de pesquisa (Sibratec).
Programa de P&D da ANEEL (2000 -)	Obriga as concessionárias de energia a realizar investimentos em P&D, sendo um estímulo à inovação no setor elétrico nacional.	- Criação de novos equipamentos e aprimoramento da prestação de serviços que contribuam para a segurança, fornecimento, impacto ambiental e a dependência tecnológica; - Criação de diversos projetos de pesquisa com a cooperação de várias empresas e instituições de ensino e pesquisa.
Resoluções da CAMEX (2015 e 2016)	Estabeleceram os impostos de importação aos veículos elétricos e híbridos.	- Diminuíram relativamente os preços dos VEs no mercado nacional; - Estabeleceram taxas específicas para os VEs.
Bens de Capital Eficiente – BNDES (2016-)	Linha de financiamento de máquinas e equipamentos que promovam a eficiência energética ou que tenham	Linha de crédito que possibilita a aquisição de ônibus elétrico/híbrido e outros veículos de tração

	menor consumo energético relativo.	elétrica com condições especiais (taxa de juros e Tempo).
Projeto de Car Sharing (2015 -)	Editais/chamadas públicas para regimentar projetos e empresas interessadas em implementar o serviço de Transporte.	- Introduz os VEs no cotidiano das cidades; - Inaugura um novo nicho de negócios; - Amplia a oferta de mobilidade pelo espaço urbano.
Consulta pública da ANEEL (2016)	Processo democrático para construção conjunta de políticas públicas entre governo e sociedade. Neste caso, a chamada versava sobre procedimentos para melhorar o atendimento ao consumidor e estabelecer o serviço de recarga a Ves	- Estabelecimento de consensos; - Identificação de problemas e barreiras; - Destaque ao segmento da mobilidade elétrica no plano nacional.
Homologação do VEs pela ABNT	Define os termos relacionados aos VEs, tais como: sistemas de propulsão elétrica, baterias lítio-íon, plug-ins, tomadas para veículos elétricos e sistemas de recarga condutiva.	- Padronização e harmonização de normas internacionais; - Previsibilidade e estímulo à produção e à utilização de veículos elétricos e híbridos no Brasil.
Regulação ANEEL (2018)	Regulação para o fornecimento do serviço de recarga de energia elétrica para veículos Elétricos.	- Fornece uma regulação específica para o sistema de recarga passando a dar previsibilidade aos interessados em ofertar este serviço; - Visa alavancar a quantidade de pontos de recarga disponíveis no Brasil.
DECRETO n. 9.442, equiparação do IPI dos veículos elétricos e híbridos a modelos convencionais	O Decreto alterou as alíquotas do Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) incidente sobre veículos	- O novo IPI para elétricos e híbridos passou a ficar entre 7% e 20%, dependendo do tipo de

(2018)	equipados com motores híbridos e elétricos.	veículo e eficiência energética. Anteriormente, as alíquotas variavam entre 25% (elétricos puros) e 13% (híbridos). - Diminuiu os preços dos veículos elétricos para a compra; - Equiparou as tribulações com os veículos tradicionais, ponderando a questão da eficiência energética.
Lei nº 13.755, de 10 de dezembro de 2018- Rota 2030 - Mobilidade e Logística (2018- 2033).	Estabelece os requisitos obrigatórios para a comercialização de veículos no país, institui o Programa Rota 2030 - Mobilidade e Logística, e dispõe sobre o regime tributário de autopeças não produzidas.	<ul style="list-style-type: none"> - Articulação dos atores (empresas, governo e sociedade civil); - Prevê as metas de eficiência energética para o setor; - Promoção das novas tecnologias de propulsão veicular; - Fomento a inserção nacional nas cadeias globais de valor - Disserta sobre o regime de autopeças não produzidas no país. - Regras para a importação de componentes não produzidos no Brasil; - Foco na “ambidestria”: capacidade de desenvolver as tecnologias e competências nacionais baseadas nos biocombustíveis como também em explorar as novas tecnologias de propulsão eletrificadas e a células a combustível; - Sinalização clara da direção do país em prol da adoção de uma mobilidade de Baixo carbono nos

		próximos anos.
Programa de P&D da ANEEL- Lançamento da chamada estratégica No 022/2018 “Desenvolvimento de Soluções em Mobilidade Elétrica eficiente”, pela ANEEL	Direcionar esforços e recursos em projetos específicos da eletromobilidade no Brasil	<ul style="list-style-type: none"> - Foco nos modelos de negócio, equipamentos, tecnologias, serviços, sistemas ou infraestruturas para suporte ao desenvolvimento ou à operação dos veículos elétricos ou híbridos plug-in. - Os equipamentos, tecnologias, sistemas e infraestrutura produzidos deverão atingir os estágios finais da cadeia de inovação, tais como: cabeça de série, lote pioneiro e inserção no mercado
Frente Parlamentar Mista em defesa da eletromobilidade no Brasil	Elaboração e proposição de projetos de lei para a eletromobilidade no Brasil	<ul style="list-style-type: none"> - Aglutinação de membros do legislativo (deputados federais), empresas, universidades e sociedade civil. - Discussão de projetos que lei que buscam viabilizar e fomentar a produção local de veículos elétricos e adensar o seu Mercado.