

2022

Action Fund Brazil

Sistema de Indicadores
de Sustentabilidade
para o Transporte
Público Urbano de
Porto Alegre

Programa



Action Fund Brazil

Financiamento

Google.org

Gestão e Implementação



Parceiros



Prefeitura de
Porto Alegre

Projeto





CENTRO
BRASIL
NO CLIMA

Equipe executora

Centro Brasil no Clima

Alexandre Kotcherogenko Batista

Carmynie Xavier

João Videira

Nathalia Minari

William Wills

Grupo de Economia do Meio Ambiente (GEMA/UFRJ)

Carlos Eduardo Young

Gabriel Pabst

Instituto Augusto Carneiro

Kathia Vasconcellos Monteiro

Equipe colaboradora

ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade

Cibele Carneiro da Silva

Leta Vieira

Leticia Borges

Raisa de Castro Soares

Secretaria de Meio Ambiente, Urbanismo e Sustentabilidade de Porto Alegre

Secretário Germano Bremm

Rovana Reale Bortolini



CENTRO
BRASIL
NO CLIMA

Lista de abreviaturas

ANP - Agência Nacional do Petróleo
ANTP - Associação Nacional de Transportes Públicos
CAPEX - Capital Expenditure / Despesas de Capital
CBC - Centro Brasil no Clima
CID - Código Internacional de Doenças
CO2 eq - Gás Carbônico Equivalente
CURB - Ação Climática para a Sustentabilidade Urbana
DAP - Disposição a Pagar
DATASUS - Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde do Brasil
EIE - Environmental Insights Explorer
EPE - Empresa de Pesquisa Energética
EPTC - Empresa Pública de Transporte e Circulação
ETS - European Trading System
FE - Fator de Emissão
FEPAM - Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler
GEE - Gases de Efeito Estufa
GEMA/UFRJ - Grupo de Economia do Meio Ambiente da UFRJ
IAC - Instituto Augusto Carneiro
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICCT - International Council on Clean Transportation
ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade
IDH - Índice de Desenvolvimento Humano
IPCC - Painel Intergovernamental para a Mudança do Clima
IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
IPK - Índice de Passageiros por Quilômetro
ITDP - Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento
MP2,5 - Material Particulado fino
OMS - Organização Mundial da Saúde
OPEX - Operational Expenditure / Despesas Operacionais
POA - Porto Alegre
PROCONVE - Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores
VEV - Valor Estatístico da Vida



Sumário

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. O município de Porto Alegre	13
1.1.1. Qualidade do ar em Porto Alegre	17
1.1.2. Legislações tangentes ao transporte público em Porto Alegre	21
2. OBJETIVOS	25
3. METODOLOGIA	26
A. Apresentação da amostra	33
A.1. Perfil sociodemográfico	33
A.2. Uso/ Percepção do transporte público	38
A.3. Relação renda domiciliar mensal	45
B.2. Demanda (Disposição a Pagar e Prioridade): redução da poluição (emissões de GEE) proveniente do transporte público	
B.1. Nível de prioridade atribuído às medidas de enfrentamento à poluição oriunda das emissões de GEE	48
B.1.1. Nível de prioridade x Renda domiciliar mensal	48
B.1.2. Nível de prioridade x Escolaridade	50
B.1.3. Nível de prioridade x Nível de conhecimento sobre emissões de GEE	51
B.1.4. Nível de prioridade x Principal motivação de uso do transporte público	52
B.1.5. Nível de prioridade x Uso médio diário	53
B.1.6. Nível de prioridade x Frequência de uso semanal do transporte público	54
B.1.7. Nível de prioridade x Identificação	55
B.2. Disposição a Pagar	57
B.2.1. Disposição a pagar x Renda domiciliar mensal	57
B.2.2. Disposição a pagar x Escolaridade	58
B.2.3. Disposição a pagar x Nível de conhecimento	59
B.2.4. Disposição a pagar x Principal motivação de uso do transporte público	60
B.2.5. Disposição a pagar x Uso médio diário	61



CENTRO
BRASIL
NO CLIMA

B.2.6. Disposição a pagar x Frequência semanal de uso do transporte público	62
4. ANÁLISE DO MATERIAL PARTICULADO FINO (MP2,5)	65
5. CO2 EQUIVALENTE DECORRENTE DOS ÔNIBUS DO TRANSPORTE PÚBLICO DE PORTO ALEGRE	82
6. CONCLUSÃO	117
ANEXOS	124
ANEXO 1 – Questionário aplicado à população de Porto Alegre	124
ANEXO 2 – Relatos e sugestões da população relacionados ao transporte urbano sustentável no município, coletados via aplicação dos questionários	129



Índice

Tabelas

Tabela 1: Concentração de MP2,5 registrado em Porto Alegre nos últimos anos	18
Tabela 2: Localização das estações de monitoramento da qualidade do ar do Pacto Ar Alegre	18
Tabela 3: Coeficientes de Morbidade	67
Tabela 4: Óbitos estimados em Porto Alegre referentes à exposição de 13 µg/m ³ de MP2,5	71
Tabela 5: Estimativa de óbitos dos Cap. I à XVI da CID-10 associados à exposição de 13µg/m ³ de MP2,5	71
Tabela 6: Produção sacrificada resultante de exposição de 13µg/m ³ de MP2,5 na cidade de Porto Alegre para o ano de 2018, em valores correntes	72
Tabela 7: Produção sacrificada resultante de exposição de 13µg/m ³ de MP2,5 na cidade de Porto Alegre, para 2019, em valores correntes	73
Tabela 8: Valores de rendimento médio anual, óbitos associados e total de produção sacrificada para maiores de 15 anos em Porto Alegre, para os anos de 2018 e 2019 (R\$ correntes)	74
Tabela 9: Casos de morbidade para os capítulos analisados, em 2018	74
Tabela 10: Casos de morbidade para os capítulos analisados, em 2019	75
Tabela 11: Incidência de casos de morbidade associada à exposição de 13 µg/m ³ MP2,5 em Porto Alegre, para os anos de 2018 e 2019	75
Tabela 12: Memória de cálculo morbidade Cap. II - Neoplasia	76
Tabela 13: Memória de cálculo morbidade Cap. IX - Doenças do aparelho circulatório	76



Tabela 14: Memória de cálculo morbidade Cap. X - Doenças do aparelho respiratório	78
Tabela 15: Média de gasto hospitalar (R\$) por idade, referente a comorbidades da CID-10 (Cap II, IX e X) de Porto Alegre para 2018	79
Tabela 16: Média de gasto hospitalar (R\$) por idade, referente à comorbidades da CID-10 (Cap II, IX e X) de Porto Alegre, para 2019	80
Tabela 17: Estimativa de gasto hospitalar (R\$) por caso associado da CID-10 (Cap II, IX e X) de Porto Alegre para 2018, em valores correntes	80
Tabela 18: Estimativa de gasto hospitalar (R\$) por caso associado da CID-10 (Cap II, IX e X) de Porto Alegre para 2019, em valores correntes	81
Tabela 19: Síntese dos impactos econômicos (R\$), em valor corrente, decorrente da exposição prolongada de 13 µg/m ³ de MP _{2,5} em Porto Alegre, em 2018 e 2019	82
Tabela 20: Emissões de CO ₂ e estimadas para ônibus no município de Porto Alegre, em 2018 e 2019	84
Tabela 21: Volume de combustível vendido em Porto Alegre em 2018 e 2019	86
Tabela 22: Densidade energética dos combustíveis analisados	87
Tabela 23: Resultados da conversão de consumo de combustível de m ³ para energia (TJ)	87
Tabela 24: Fatores de Emissão utilizados para cálculo de emissão de CO ₂	88
Tabela 25: Emissão de tCO ₂ e dos ônibus urbanos de Porto Alegre seguindo a metodologia do IPCC, por tipo de combustível, em 2018 e 2019	88
Tabela 26: Emissão dos ônibus de transporte público em Porto Alegre a partir as metodologias EIE Google, IPCC e 2º Inventário de GEE de Porto Alegre, em t/CO ₂ eq	89
Tabela 27: Valoração das emissões de carbono derivadas dos ônibus urbanos em Porto Alegre (em US\$)	90



Tabela 28: Valoração das emissões de carbono associáveis ao transporte rodoviário em Porto Alegre (em R\$)	91
Tabela 29: Descrição dos grupos de variáveis consideradas na análise	94
Tabela 30: Dados utilizados para a simulação financeira de viabilidade da eletrificação da frota de ônibus urbanos da cidade de Porto Alegre	99
Tabela 31: Custo da atual frota de ônibus urbanos de Porto Alegre, movidos a diesel, até o ano de 2050, considerando CAPEX, OPEX, depreciação, revenda e externalidades causadas à saúde da população (R\$ de 2022)	102
Tabela 32: Síntese dos custos para manter a frota total de ônibus à diesel de Porto Alegre em cenários de 2036 e 2050	103
Tabela 33: Custo de possível eletrificação da frota de ônibus urbanos de Porto Alegre, considerando CAPEX, OPEX, depreciação e revenda (R\$ de 2022)	105
Tabela 34: Síntese dos custos para eletrificação da frota de ônibus de Porto Alegre em 2036 e 2050	106
Tabela 35: Aplicação de taxa de desconto para o custo da frota de ônibus urbanos de Porto Alegre movida a diesel até o ano de 2050 (R\$ de 2022)	107
Tabela 36: Síntese da aplicação de taxa de desconto para o custo da frota de ônibus urbanos movido a diesel	108
Tabela 37: Aplicação de taxa de desconto para o custo da frota de ônibus urbanos de Porto Alegre movida a eletricidade até o ano de 2050 (R\$ de 2022)	109
Tabela 38: Síntese da aplicação de taxa de desconto para o custo de eletrificação da frota de ônibus urbanos	110
Tabela 39: Comparação dos custos de se eletrificar a frota de ônibus urbanos de Porto Alegre ou mantê-la operando a diesel, considerando CAPEX, OPEX, depreciação, revenda e valoração da poluição relacionada (R\$ de 2022)	111



Tabela 40: Análise comparativa de investimentos necessários para se eletrificar a frota de ônibus urbanos de Porto Alegre ou mantê-la operando a diesel, considerando taxa de retorno, CAPEX, OPEX, depreciação, revenda e valoração da poluição relacionada (R\$ de 2022)	111
Tabela 41: Comparação entre os cenários, considerando o período de 2050	113
Tabela 42: Diesel consumido por percurso simulado (Km/L)	114
Tabela 43: Energia equivalente (TJ) associada ao deslocamento dos percursos simulados	114
Tabela 44: Emissões de CO2 evitáveis por percurso simulado	115
Tabela 45: Prioridade para transição segundo quilometragem percorrida, IPK e número de passageiros	121

Gráficos

Gráfico 1: Proporção de gênero da amostra	35
Gráfico 2: Proporção de auto identificação da amostra	35
Gráfico 3: Proporção de faixas etária da amostra	35
Gráfico 4: Proporção das ocupações da amostra	36
Gráfico 5: Proporção da renda domiciliar mensal da amostra	37
Gráfico 6: Proporção das variáveis Identificação x Frequência de uso semanal do transporte público da amostra	38
Gráfico 7: Proporção das variáveis Identificação x Grau de escolaridade da amostra	38
Gráfico 8: Proporção das variáveis Identificação x Renda domiciliar mensal da amostra	39
Gráfico 9: Proporção das faixas de frequência de uso semanal do transporte público da amostra	40
Gráfico 10: Proporção das faixas de uso médio diário do transporte público da amostra	40



Gráfico 11: Proporção do nível de conhecimento sobre impactos da mudança do clima da amostra	41
Gráfico 12: Proporção dos dias de perda de trabalho anual por conta de problemas respiratórios da amostra	43
Gráfico 13: Proporção dos dias de perda de trabalho anual para cuidar de indivíduos com sintomas cardiorrespiratórios da amostra	43
Gráfico 14: Proporção das respostas para a questão sobre disposição a pagar pela redução de emissões de GEE causadas pelos ônibus da amostra	44
Gráfico 15: Distribuição das proporções (em porcentagem) das respostas (categorias) para a questão sobre nível de prioridade em relação à redução de emissões de GEE	45
Gráfico 16: Proporção das variáveis Renda domiciliar mensal x Uso médio diário do transporte público da amostra	47
Gráfico 17: Proporção das variáveis Renda domiciliar mensal x Frequência de uso semanal do transporte público da amostra	47
Gráfico 18: Proporção das variáveis Renda domiciliar mensal x Principal motivação de uso do transporte público da amostra	48
Gráfico 19: Proporção das variáveis Nível de prioridade de investimento em redução de emissões x Renda domiciliar mensal da amostra	50
Gráfico 20: Proporção das variáveis Nível de prioridade de investimento em redução de emissões x Escolaridade da amostra	51
Gráfico 21: Proporção das variáveis Nível de prioridade de investimento em redução de emissões x Nível de conhecimento sobre mudança do clima da amostra	53
Gráfico 22: Proporção das variáveis Nível de prioridade de investimento em redução de emissões x Principal motivação de uso do transporte público da amostra	54
Gráfico 23: Proporção das variáveis Nível de prioridade de investimento em redução de emissões x Uso médio diário do transporte público da amostra	55



Gráfico 24: Proporção das variáveis Nível de prioridade de investimento em redução de emissões x Frequência de uso semanal do transporte público da amostra	56
Gráfico 25: Proporção das variáveis Nível de prioridade de investimento em redução de emissões x Identificação racial da amostra	57
Gráfico 26: Proporção das variáveis Disposição a pagar pela redução de emissões x Renda domiciliar mensal da amostra	58
Gráfico 27: Proporção das variáveis Disposição a pagar pela redução de emissões x Escolaridade da amostra	59
Gráfico 28: Proporção das variáveis Disposição a pagar pela redução de emissões x Nível de conhecimento sobre mudança do clima da amostra	60
Gráfico 29: Proporção das variáveis Disposição a pagar pela redução de emissões x Principal motivação de uso do transporte público da amostra	61
Gráfico 30: Proporção das variáveis Disposição a pagar pela redução de emissões x Uso médio diário do transporte público da amostra	62
Gráfico 31: Proporção das variáveis Disposição a pagar pela redução de emissões x Frequência de uso semanal do transporte público da amostra	63

Figuras

Figura 1: Evolução das emissões por setor de atividade em Porto Alegre	15
Figura 2: Mapa de localização das estações de monitoramento da qualidade do ar do Pacto Alegre	19
Figura 3: Etapas cumpridas para a realização do estudo	27
Figura 4: Abertura do questionário online	32
Figura 5: Representação da aplicação da metodologia EIE Google	84



Figura 6: Infraestrutura dedicada ao transporte coletivo em Porto Alegre

119

Quadros

Quadro 1: Modelo geral aplicado para estimativa de desfechos relacionados ao MP2,5	66
Quadro 2: Modelo aplicado para valoração econômica de mortalidade	70
Quadro 3: Metodologia do IPCC para estimativa de emissão de GEE do setor de transporte terrestre	85
Quadro 4: Infraestruturas de recarga para ônibus elétrico	96
Quadro 5: Relação dos resultados com o Plano Diretor Ciclovitário de Porto Alegre	113



1. INTRODUÇÃO

A fim de auxiliar o planejamento e a busca de soluções climáticas nas cidades, durante a COP25 em Madri, deu-se início a parceria global entre Google.org e ICLEI Governos Locais pela Sustentabilidade para a implementação do *Action Fund* (AF). O fundo, gerido pela primeira instituição e implementado pela segunda, tem como objetivo impulsionar ações de planejamento climático e em prol da sustentabilidade, especialmente através do uso da plataforma *Environmental Insights Explorer* (EIE), do Google.

Usando de fontes de dados agregados exclusivos do Google e recursos de modelagem, o EIE configura-se como uma base de dados gratuita referente a emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) de cidades e regiões, em particular para sistemas de transporte e consumo energético de edifícios. Além disso, a ferramenta permite estimar o potencial de produção solar de edifícios, tendo em vista critérios como exposição solar, padrões climáticos, tamanho do telhado e sua orientação.

Em julho de 2020 o ICLEI América do Sul lançou edital do *AF Brazil* para seleção de projetos inovadores e de impacto na mitigação de emissões de Gases De Efeito Estufa (GEE) que fortalecessem políticas públicas locais. Considerando a utilização da plataforma EIE, a chamada foi aplicada sob dois recortes municipais do Sul do Brasil: Porto Alegre e Curitiba.

Dentre outros projetos desenvolvidos nas localidades indicadas, o **Sistema de Indicadores de Sustentabilidade para o Transporte Público Urbano na Cidade de Porto Alegre**, aqui apresentado, é fruto do respectivo contexto. Desenvolvido em linha com o Termo de Referência para Organizações Não Governamentais – Seleção nº 13/2020, o projeto foi realizado de forma

conjunta pelo Centro Brasil no Clima (CBC), Grupo de Economia do Meio Ambiente da UFRJ (GEMA/UFRJ) e Instituto Augusto Carneiro (IAC).

1.1. O município de Porto Alegre

Localizado no Estado do Rio Grande do Sul, Porto Alegre abriga mais de 1,4 milhão de pessoas ao longo de seus 495 km² de território (IBGE, 2022). Localizado no Bioma Pampa, seu território é composto, majoritariamente, por áreas urbanizadas (~40%). Contudo, o município apresenta, também, grandes extensões de áreas com formação florestal (~31%) e não florestal (~18%), como campos alagados, pantanosos e campestres. Além destes, compõem seu território áreas de uso agropecuário (~6%) e formações hídricas (~5%) (MAPBIOMAS, 2022).

Além de ser circundado por 40 morros, Porto Alegre é formado em sua maior parte por relevos de planalto, planícies e, em menores proporções, por depressões. O contraste de altitudes encontrado em seu território se observa também pela formação de morros, com cotas de altitude variando entre 100 e 300 metros na região leste e 200 metros entre as regiões central, sul e extremo sul. Ainda, é notável em sua paisagem o Lago Guaíba, que contorna a cidade ao longo de 72 km de orla (PORTO ALEGRE, 2022).

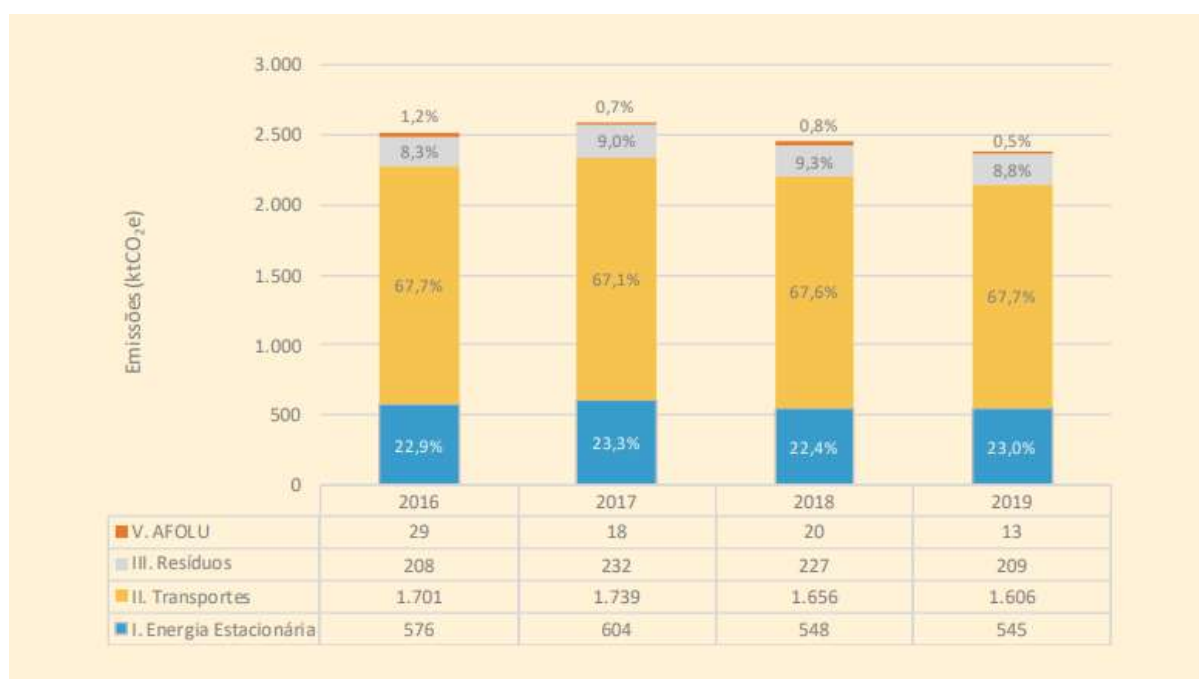
Ainda que apresente Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) muito alto (0,805), se destacando como uma das melhores capitais do Brasil, observa-se ao longo do município setores de maior vulnerabilidade social, identificados como “aglomerados subnormais” e “áreas de risco” (OBSERVATÓRIO DE PORTO ALEGRE, 2021). No primeiro grupo, incluem-se os assentamentos irregulares, como favelas, invasões, grotas, vilas e outros. No segundo, consideram-se aspectos como localização, padrão urbanístico, acessibilidade, densidade de ocupação, verticalização dos domicílios e seu espaçamento. Grande parte de tais áreas vulneráveis ocorrem nas regiões norte,



leste e sul, enquanto naquelas central e extremo sul são observadas uma menor proporção. Nota-se uma forte relação existente entre tais áreas vulneráveis e a formação de morros, ainda que não se limitem a tais localidades.

Em relação à emissão de GEE, Porto Alegre elaborou em 2021 o seu segundo e atual Inventário, utilizando como base dados de 2016 a 2019. Especialmente no último ano analisado, o município totalizou 2,4 MtCO₂e, sendo o setor de Transportes o mais representativo, (~67% das emissões), seguido do setor de Energia Estacionária (~23%), Resíduos (~9%) e Agricultura, Florestas e Outros Usos do Solo (AFOLU) (~1%). Ainda que em diferentes proporções percentuais, em todo o período analisado, a ordem dos setores que mais contribuíram para a intensificação de GEE na atmosfera no município se manteve a mesma de 2019 (WayCarbon, ICLEI & Ecofinance, 2021) (Figura 1).

Figura 1: Evolução das emissões por setor de atividade em Porto Alegre



Fonte: WayCarbon / ICLEI / Ecofinance (2021).

Especialmente em relação ao setor de transportes, objeto deste projeto, ao longo do período analisado no Inventário, observou-se uma pequena variação de sua emissão de GEE. Tais emissões, provenientes da queima de combustíveis em veículos e equipamentos móveis e do consumo de energia elétrica do trem metropolitano, somaram em 2019 cerca de 1600 ktCO₂e. Considerando seus subsetores, percebe-se que a categoria de Transporte Terrestre é a mais representativa, sendo responsável por aproximadamente 75% das emissões de todo o setor. Em seguida estão, respectivamente, Transporte Aéreo (~25%) e Transporte Ferroviário (menos de 1%). Por fim, cabe observar que não foi possível contabilizar de forma separada os dados de consumo para o Transporte Hidroviário, de tal maneira que este somou à categoria de Transporte Terrestre.

Da mesma forma, as emissões de consumo de óleo diesel no Transporte Off-Road não puderam ser desagregadas e, também, foram consideradas juntamente com a categoria Transporte Terrestre (WayCarbon, ICLEI & Ecofinance, 2021).

Em 2019, a frota terrestre porto-alegrense era composta por quase 890 mil veículos, sendo grande parte deles automóveis (~610 mil), além de mais de 5,2 mil ônibus e 2,2 mil micro-ônibus (IBGE, 2022). Destes, no mesmo ano, 1608 ônibus compunham o transporte público municipal, distribuídos entre as seguintes frotas: Norte e Nordeste (427), Sul (463), Leste e Sudeste (371) e Carris (347) (EPTC, 2020). Além disso, ainda que não se destine apenas para o setor de transporte, foram comercializados no município, ainda em 2019, mais de 448 mil m³ de Gasolina C, 11 mil m³ de Etanol hidratado e 120 mil m³ de Diesel (ANP, 2019).

Em decorrência das restrições de circulação de veículos implementadas para conter a pandemia do coronavírus, em 2020 tais valores foram fortemente impactados. Em particular quanto ao transporte público, desde março de 2020 o município apresentou uma queda expressiva na quantidade de veículos circulando na cidade e de quilômetros totais rodados por tal meio de deslocamento (PORTO ALEGRE, 2020; PORTO ALEGRE, 2021). De tal maneira, a média de rodagem dos ônibus do transporte público que tinha alcançado em 2019 quase 104 milhões de km, somou em 2020 o equivalente a pouco mais de 62 milhões de km – uma redução de aproximadamente 40% (EPTC, 2021). Tendo em vista que este movimento afetou não só o transporte público municipal, mas toda a circulação da cidade, seja ela realizada por veículo ou não, como consequência, tal redução influenciou em grande medida o padrão de emissões de poluentes atmosféricos local.

1.1.1. Qualidade do ar em Porto Alegre

Desde 2018, o monitoramento da qualidade do ar de Porto Alegre é medido pela iniciativa “Pacto Alegre”, voltada para o desenvolvimento de monitores e sistema de acompanhamento de poluição atmosférica do município. Ainda que se observe uma rede de monitoramento da qualidade do ar instalada pela Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler (FEPAM) no Rio Grande do Sul, nenhuma das estações em funcionamento localizam-se no território de Porto Alegre (FEPAM, 2020). Além disso, estações de monitoramento de poluição atmosférica que em tempos anteriores eram geridas pela Prefeitura do município deixaram de funcionar em 2011.

Através dos possíveis recortes de avaliação de concentração de Material Particulado fino (MP2,5) no município, poluente atmosférico de interesse ao desenvolvimento deste projeto, observa-se uma crescente de concentração entre 2009 e 2011, quando seu monitoramento era feito pela Secretaria Municipal de Porto Alegre (SMMA, 2013). Posteriormente a tal período, o registro de tais concentrações têm sido realizado, como mencionado, pela iniciativa Pacto Ar Alegre, que disponibiliza em uma plataforma online resultados equivalentes ao dia corrente. A seguir, apresentam-se os valores de concentração de MP2,5 encontrados em Porto Alegre para as respectivas temporalidades (Tabela 1).

Tabela 1: Concentração de MP2,5 registrado em Porto Alegre nos últimos anos

Ano	Fonte	Estação	MP2,5 anual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
2009	SMMA/POA	Centro	19,8
2010	SMMA/POA	Centro	22,8



2011	SMMA/POA	Centro	24,0
	Pacto Ar Alegre	UBS Humaitá	13
	Pacto Ar Alegre	UBS Costa e Silva	10
2021	Pacto Ar Alegre	UFCSPA	9
	Pacto Ar Alegre	HCPA	10
	Pacto Ar Alegre	UBS Restinga	8

Fonte: SMMA (2013); Pacto Alegre (2021).

As estações de monitoramento da qualidade do ar da iniciativa Pacto Ar Alegre, como indicado acima, podem ser encontradas em cinco distintas localidades do município, ao longo das regiões Norte, Centro e extremo Sul (Tabela 2 e Figura 2).

Tabela 2: Localização das estações de monitoramento da qualidade do ar do Pacto Ar Alegre

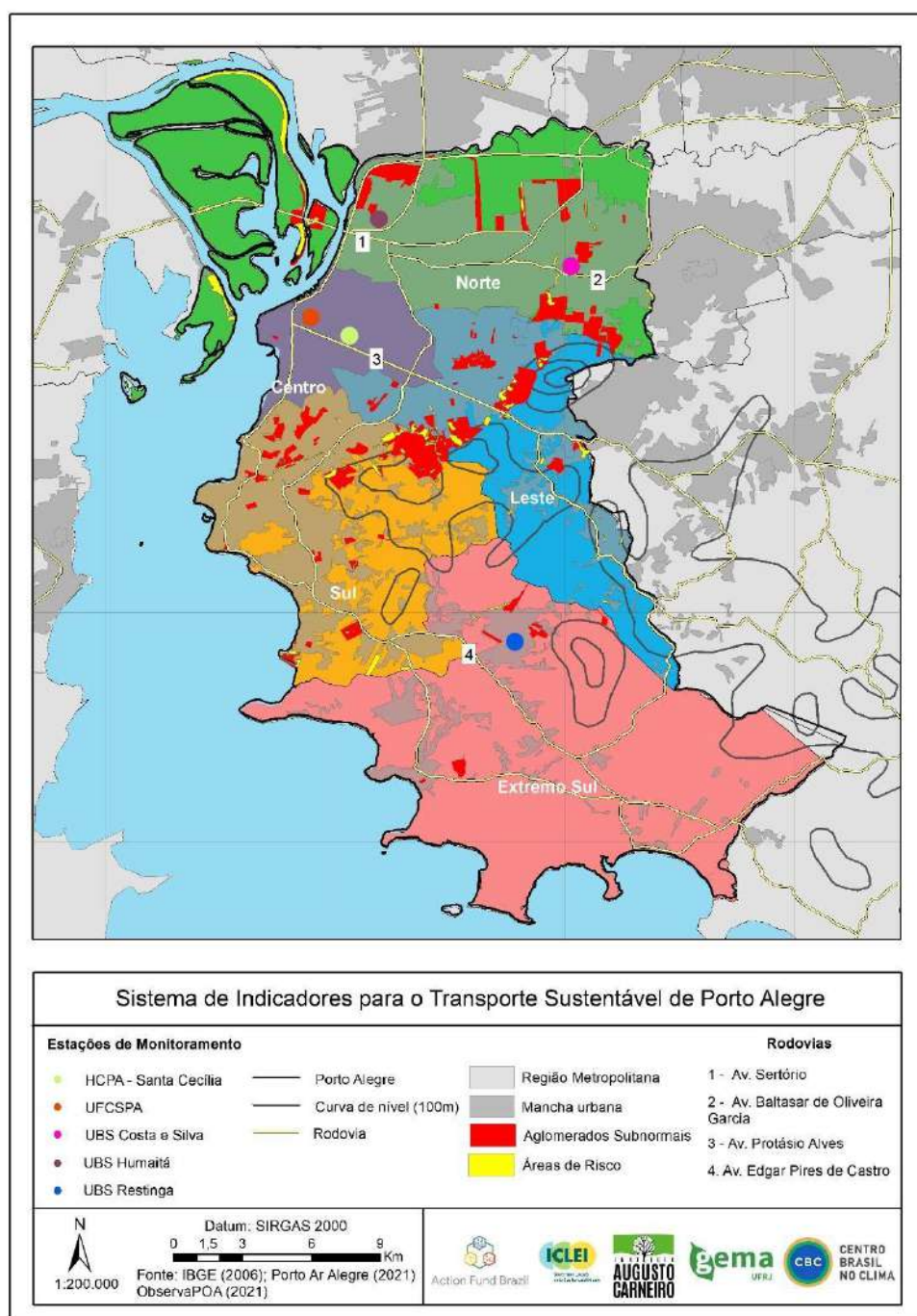
Estação	Região	Bairro	Endereço
UBS Humaitá	Norte	Humaitá	Rua Dona Teodora, 1016
UBS Costa e Silva	Norte	Rubem Berta	Rua Dante Ângelo Pilla, 373
UFCSPA	Centro	Centro Histórico	Rua Sarmento Leite, 245
HCPA - Santa Cecília	Centro	Santa Cecília	Rua São Manoel, 543
UBS Restinga	Extremo Sul	Restinga	Rua Abolição, 850

Fonte: Pacto Alegre (2021).



CENTRO
BRASIL
NO CLIMA

Figura 2: Mapa de localização das estações de monitoramento da qualidade do ar do Pacto Alegre



A estação de monitoramento de qualidade do ar com maior valor de emissão de material particulado fino ($13 \mu\text{g}/\text{m}^3$), a UBS Humaitá, encontra-se no norte de Porto Alegre. Localizada em área de planície, sem influência de elevações de morros, apresenta proximidade com infraestruturas de deslocamento dos tipos rodoviária e ferroviária. Notou-se ainda neste trecho a rodovia Av. Sertório, que atravessa a Laguna dos Patos e é rota para os municípios da Região Metropolitana de Porto Alegre. Quanto ao aspecto social, concentram-se nesta área diversos aglomerados subnormais, indicando carência socioeconômica próxima à localidade.

A segunda estação localizada no norte da cidade, UBS Costa e Silva, apresentou concentração de $\text{MP}_{2,5}$ no limiar dos padrões da OMS ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Inserida em área de planalto, localiza-se a 3 quilômetros do morro mais alto da cidade e aproxima-se da rodovia Av. Baltasar de Oliveira Garcia, estando próxima a áreas com aglomerado subnormal (cerca de 320m) e de risco (cerca de 600 m).

Na região central da cidade, encontram-se as estações HCPA – Santa Cecília e UFCSPA, ambas inseridas em área de planalto e distantes 5 quilômetros de morros. Tais áreas distanciam-se também de áreas socialmente vulneráveis mapeadas, estando a Av. Protásio Alves, rodovia mais próxima, a mais de 1 quilômetro de alcance. Este setor apresentou níveis entre $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Por fim, no extremo sul da cidade encontra-se a estação de monitoramento UBS Restinga, com a menor média anual de $\text{MP}_{2,5}$ observada entre as estações da cidade ($8 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Localizada em área de planície, a estação de monitoramento da qualidade do ar é a que apresenta maior distância de infraestruturas de deslocamento, estando a rodovia mais próxima (Av. Edgar Pires de

Castro) a 1,5 quilômetro. Observou-se a presença de aglomerados subnormais no raio de 1 quilômetro da estação.

O conjunto das informações apresentadas evidenciou, portanto, que existe uma maior concentração de MP_{2,5} na região observada no norte do município, enquanto a mais baixa ocorre no sentido oposto, isto é, no extremo sul. Neste último, observou-se também a maior distância dos pontos de infraestrutura rodoviária, o que indica a preponderância deste fator sobre as concentrações do poluente analisado.

1.1.2. Legislações tangentes ao transporte público em Porto Alegre

Porto Alegre apresenta diversos instrumentos de gestão adotados pelo poder público que se correlacionam com o setor de transporte público por ônibus, como é o caso da Lei Complementar nº 872, de 10 de janeiro de 2020, que define a Política Climática municipal, além de seus Planos de Mobilidade Urbana, Cicloviário Integrado, e o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental da cidade. Complementam o panorama, ainda, a Estratégia de Resiliência porto-alegrense. Além disso, sob o aspecto da governança local, observa-se a existência de um órgão de gestão da política climática local, o Comitê Municipal de Mudanças Climáticas e Eficiência Energética (CMMCE).

A **Política de Sustentabilidade, Enfrentamento das Mudanças Climáticas e Uso Racional da Energia** de Porto Alegre, instituída através da Lei Complementar nº 872, de 10 de janeiro de 2020, tem como um de seus objetivos fomentar mudanças de comportamento que estimulem a redução de emissões dos GEE e o aumento de sua absorção por sumidouros, além de desenvolver e incentivar ações que promovam o uso de fontes limpas e renováveis e a melhoria da eficiência

energética com ênfase, também, no transporte coletivo. De tal modo, prevê o respectivo marco legal que o Poder Público Municipal poderá propor e fomentar medidas relacionadas ao setor de transporte que privilegiem padrões de produção, comércio e consumo mais eficientes quanto ao uso de insumos e energias, que busque minimizar, em todas as fases da produção e consumo, as distâncias e o uso de combustível fóssil, além de incentivar o uso do transporte coletivo.

Ainda com relação ao transporte sustentável, a política tem como objetivo adequar a matriz energética por meio de diversas ações, dentre elas:

- Transição para fontes menos impactantes;
- Indução ao uso de sistemas de baixa emissão de GEE no transporte coletivo, especialmente em áreas adensadas;
- Fomento a pesquisas e ao desenvolvimento na área do transporte sustentável.

Em prol de alcançar suas metas ambientais, no âmbito da mobilidade urbana sustentável do transporte público, o Executivo Municipal poderá, portanto, realizar a mudança dos atuais veículos a diesel da frota de transporte coletivo para veículos elétricos, além de ampliar corredores exclusivos ou preferenciais de ônibus, visando melhorias de desempenho das viagens, realizar melhorias nas estruturas físicas dos terminais e dos pontos de parada de ônibus, dentre outros.

O **Plano de Mobilidade Urbana** destaca a utilização de parâmetros do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE) para monitorar as emissões provenientes da frota de ônibus, além da previsão de atualizações na legislação local para incentivar a utilização de ônibus elétricos e híbridos. Finalmente, o documento indica que a legislação vigente foi atualizada com vistas à promoção de ônibus municipais elétricos e híbridos.



O **Plano Diretor Cicloviário Integrado de Porto Alegre**, instituído através da lei complementar nº 626, de 15 de julho de 2009, visa o planejamento e definição do modelo de modal de bicicleta a ser desenvolvido no município. Enquanto uma opção de transporte para o atendimento das demandas de deslocamento no espaço urbano, em condições de segurança e conforto, mediante gestão integrada de todos os modos de transporte porto-alegrense, o instrumento reforça a prioridade aos meios de transporte coletivo e não motorizados no respectivo território. Dentre os objetivos do respectivo instrumento, destacam-se a seguir aqueles que se remetem à temática deste projeto:

- Estimular a utilização da bicicleta em substituição ao transporte motorizado individual e às viagens a pé ou como complemento ao transporte público de passageiros;
- Promover infraestrutura adequada e segura para o estacionamento e a guarda de bicicletas nos pólos geradores de viagens e nos equipamentos urbanos dos sistemas de transporte coletivos;
- Priorizar os meios de transporte coletivo e não motorizados na gestão dos conflitos da circulação urbana, com ênfase na segurança e na defesa da vida.

O **Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental**, instituído pela Lei Complementar nº 434 de 1999 e revisado pela Lei Complementar nº 646 de 2010, define a “Estratégia de Mobilidade Urbana” de Porto Alegre, que objetiva, entre outros aspectos, a qualificação do transporte público urbano e atenção às necessidades da população. Neste contexto, prioriza-se o transporte coletivo, assim como deslocamentos de pedestres e bicicletas. Além disso, visa-se no município: (i) a redução das distâncias a percorrer, dos tempos de viagem, dos custos operacionais, das necessidades de deslocamento, do consumo energético e do impacto ambiental, (ii) a

capacitação da malha viária, dos sistemas de transporte, das tecnologias veiculares, dos sistemas operacionais de tráfego e dos equipamentos de apoio, (iii) e a racionalização do transporte coletivo de passageiros, o qual deve evitar a sobreposição de sistemas, além de ser privilegiado sempre aqueles mais econômicos e menos poluentes.

De acordo com a ***Estratégia de Resiliência da Cidade***, o principal desafio da mobilidade urbana é a necessidade de aperfeiçoamento de uma abordagem municipal para o setor de transportes, não havendo direcionamentos específicos sobre como o sistema pode contribuir para o desenvolvimento da cidade e, mais especificamente, como colaborar para a diminuição das disparidades regionais. No entanto, o principal fator que alicerça esta proposta são as metas de incentivo à eficiência energética e o incentivo às inovações a partir da integração entre sociedade civil, universidades, setor privado e prefeitura. Mais especificamente, destacam-se os incentivos aos modais alternativos e integrados, baseado em novas tecnologias não poluentes e em práticas solidárias e compartilhadas de mobilidade.

O ***Comitê Municipal de Mudanças Climáticas e Eficiência Energética (CMMCE)***, estrutura de governança criada a partir do decreto nº 19.348, de 21 de março de 2016, visa organizar e promover ações para implantação da política municipal de mudanças climáticas. Compõem o CMMCE estruturas da administração municipal, estadual metropolitano, academia, terceiro setor, representações de sindicatos e federações e conselhos de classe. De tal maneira, seus objetivos são: criar programas, formular propostas e desenvolver projetos e atividades de forma a inserir sustentabilidade e resiliência em todas as esferas da Administração Pública, além de propor um modelo de política de mudanças climáticas e eficiência energética a ser adotado pela Prefeitura de Porto Alegre. Algumas das competências do CMCEE são:



- Definir metas e indicadores para a redução das emissões de gases do efeito estufa e adaptação dos prédios municipais para geração ou consumo de energia limpa e renovável;
- Incentivar pesquisas, convênios e parcerias relativos ao desenvolvimento sustentável, à resiliência e à implementação de projetos que visem a mitigação de emissões de gases do efeito estufa, à redução da pegada de carbono, ao incentivo à educação ambiental, à economia verde e à preservação dos recursos hídricos, da biodiversidade e das áreas verdes;
- Buscar indicadores de sustentabilidade urbana, contribuindo para a definição de políticas públicas sustentáveis e para a elaboração de inventários;
- Propor o monitoramento das condições da cidade na perspectiva de indicadores de resiliência pré-definidos em acordo com especialistas no tema;
- Garantir que os compromissos assumidos pelo município de Porto Alegre para o combate às mudanças climáticas na cidade sejam implementados e adaptados, até 2050, na totalidade dos prédios municipais para geração ou consumo de energia limpa e renovável.

2. OBJETIVOS

Tendo em vista, portanto, que Porto Alegre enfrenta desafios na construção de estratégias de mitigação climática frente à eletrificação de ônibus do transporte público, este projeto teve como objetivo geral a construção de um sistema de indicadores de sustentabilidade para a respectiva transição energética. Para tanto, foram alcançados os seguintes objetivos secundários:

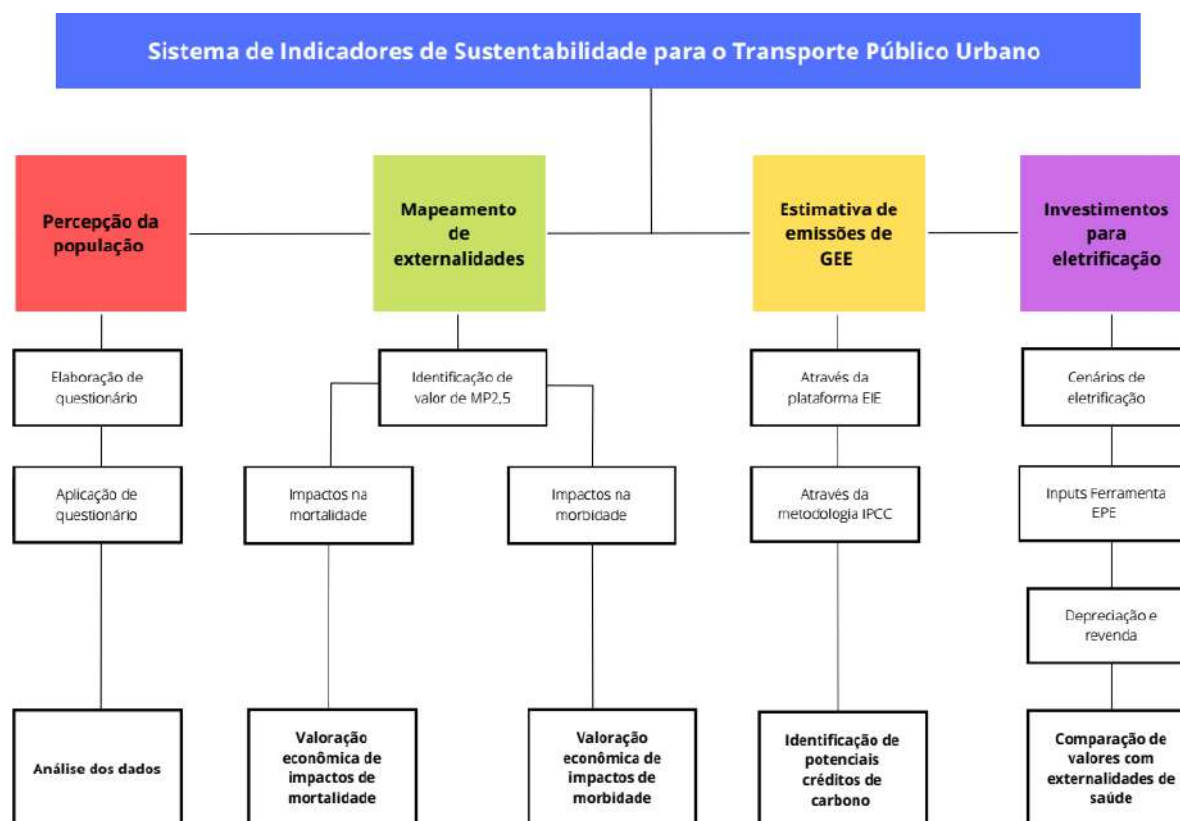
- Consultar a população local sobre o transporte público sustentável;
- Mapear externalidades negativas geradas pela operação do atual sistema de transporte público rodoviário local e seus impactos sobre a sustentabilidade ambiental, social e econômica da cidade;
- Estimar a emissão de GEE a partir dos ônibus de transporte público municipal;
- Desenvolver cenários de investimento para a respectiva eletrificação da frota.

Os indicadores produzidos permitem compreender os custos econômicos que a poluição de ônibus do transporte público movidos à diesel geram para o município, e contrastar esses valores com os custos de se eletrificar a frota de ônibus municipal. De tal maneira, o estudo realizado poderá ser utilizado em complemento aos instrumentos de planejamento urbano-ambiental e de resiliência urbana, favorecendo a construção de mecanismos de gestão adaptativa às mudanças climáticas, bem como incentivar a mitigação de emissões de gases poluentes.

3. METODOLOGIA

Para o alcance do objetivo geral proposto, a metodologia deste projeto se divide a partir dos objetivos secundários descritos previamente, organizados conforme o fluxograma de trabalho abaixo (Figura 3).

Figura 3: Etapas cumpridas para a realização do estudo



A identificação da percepção da população de Porto Alegre foi realizada através da aplicação de questionário. Para tanto, de forma conjunta, as instituições que executaram o trabalho (CBC, GEMA/UFRJ e IAC) elaboraram um questionário, aprovado pelo ICLEI América do Sul, para a realização de entrevistas. Inicialmente, ao longo de maio e junho de 2021, foram realizadas campanhas de divulgação da pesquisa e aplicação do questionário de forma virtual, tendo em vista o cenário de distanciamento social em decorrência da pandemia. Tendo em vista que as respostas obtidas apresentaram resultados enviesados e discrepantes da realidade local, em novembro do mesmo ano foi realizada, de forma presencial, uma nova coleta de dados referente à percepção da

população sobre transporte público sustentável. Alcançada a diversidade de perfis necessários à complementação da amostra, os dados foram avaliados estatisticamente.

Para identificação das emissões de GEE referente aos ônibus do transporte municipal foi utilizada a plataforma Environmental Insights Explorer (EIE); os respectivos valores foram confrontados com aqueles encontrados através da metodologia do IPCC e do 2º Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa de Porto Alegre. Para tais valores, estimou-se seu potencial em créditos de carbono uma vez que fossem totalmente mitigados. O cálculo considerou valores praticados em mercados internacionais.

Para a valoração das externalidades ambientais relacionadas às emissões de Material Particulado fino (MP2,5) foram calculados os seguintes custos: para mortalidade se quantificou a perda de produtividade local por abreviamento da população em idade economicamente ativa via frustração de sua expectativa de vida, enquanto para morbidade foram considerados os custos médico-hospitalares associados ao tratamento das doenças atribuíveis à poluição atmosférica.

Tendo em vista a atipicidade de redução de circulação de automóveis e respectiva poluição, bem como do aumento de casos de óbitos e internações decorrentes de doenças respiratórias em consequência da pandemia do Covid-19, período de elaboração deste estudo, para os dados de saúde utilizados foi considerado o período de 2018 e 2019, últimos anos antes de restrições para contenção do vírus.

Uma vez que para o mesmo período não foram alcançados os registros das estações de monitoramento da qualidade do ar, utilizou-se como base para a valoração de externalidades os quantitativos de MP2,5 registrados em abril de 2021 – em especial àquele de maior valor, dado o

reconhecimento de atipicidade do momento e respectiva redução da poluição atmosférica. Contudo, ainda assim, é necessário ressaltar que o valor em questão é menor do que aqueles observados entre 2009 e 2011. Tal fator pode, de tal maneira, indicar que os valores encontrados, no que se referem ao respectivo poluente, são menores do que seriam em um cenário sem limitações de circulação.

A análise da eletrificação da frota de ônibus do transporte público de Porto Alegre foi elaborada a partir da utilização da “Ferramenta de Avaliação Técnico-Econômica para Ônibus Elétricos Urbanos Municipais”, desenvolvida pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2020). De tal maneira, foram avaliados três diferentes cenários de financiamento, sendo eles:

- **Cenário 1** - Alcançar 100% da frota eletrificada a partir de 2023;
- **Cenário 2** - Alcançar 100% da frota eletrificada a partir de 2037, quando da caducidade do atual contrato de concessão dos ônibus públicos de Porto Alegre
- **Cenário 3** - 100% da frota eletrificada em 2050, objetivo geral para a neutralização das emissões de dióxido de carbono constante no Acordo de Paris.

Destaca-se que, após alinhamento com a equipe ICLEI, foram desconsiderados neste estudo cenários propostos na submissão inicial deste projeto em relação ao uso de biocombustíveis. Isso dadas as incertezas sobre o aumento das concentrações de biodiesel nos ônibus (principalmente a abrasividade sobre as peças do veículo) e quanto ao custo envolvido na conversão dos ônibus para o gás natural, que é um combustível de origem fóssil que não zera as emissões e eventualmente deveria ser substituído pela eletrificação, acarretando assim em um segundo custo.

Maiores detalhes sobre as respectivas metodologias abordadas vão ser apresentadas nos capítulos a seguir.

4. PERCEPÇÃO DA POPULAÇÃO EM RELAÇÃO AO TRANSPORTE PÚBLICO SUSTENTÁVEL

A partir da compreensão da percepção da população do município de Porto Alegre em relação ao transporte público sustentável, torna-se possível identificar a aceitação pública da proposta deste estudo. Além disso, a análise permitiu a avaliação de aspectos gerais que a população julga importantes em prol da sustentabilidade e redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE).

Para sua realização, conforme indicado no Capítulo 2, foram implementados esforços de caráter virtual e presencial. Em ambas as situações, aplicou-se o mesmo questionário (Anexo 1), elaborado a partir de outras pesquisas de referências, como a “Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua – PNAD” (IBGE, 2011), a pesquisa “Mudança Climática na Percepção dos Brasileiros” (ITS & IBOPE, 2021), e a pesquisa realizada para valorar a morbidade de crianças em decorrência da poluição do ar, em São Paulo (MAC-KNIGHT, 2008). Após sua elaboração, o questionário passou por um processo de validação pela equipe do ICLEI América do Sul, sendo o mesmo aprovado.

A aplicação da ferramenta aconteceu inicialmente de forma teste, com a aplicação direcionada a 10 pessoas de um grupo fechado, indicadas pelo Instituto Augusto Carneiro. Uma

vez que a fase piloto não apresentou problemas, o questionário passou a ser oficialmente divulgado, de forma virtual, para a população porto-alegrense em 14 de junho de 2021 (Figura 4).

Figura 4: Abertura do questionário online



Para o alcance da população ao questionário, foram realizadas as seguintes estratégias de divulgação:

- Publicação semanal do questionário em posts de redes sociais (Facebook, Instagram, Twitter e LinkedIn);
- Divulgação em grupos do Facebook, de bairros e comunidades de Porto Alegre, bem como de cursos de graduação das diversas universidades localizadas no município;
- Impulsioneamento em redes sociais com georreferenciamento;
- Envio de mensagem por e-mail, utilizando mailings previamente existentes das instituições executoras, de forma filtrada para Porto Alegre;

- Levantamento de e-mails e respectivo envio de mensagem com chamada ao questionário para: associações de moradores, Organizações da Sociedade Civil (OSCs) diversas e participantes de grupos de pesquisa e centros acadêmicos de universidades locais;
- Pedido de apoio à divulgação do questionário aos parceiros do projeto, ICLEI América do Sul e Prefeitura de Porto Alegre/Secretaria do Meio ambiente, Urbanismo e Sustentabilidade;
- Compartilhamento do questionário em grupos do WhatsApp, realizado especialmente por representantes da equipe deste Projeto residentes em Porto Alegre.

O fechamento do questionário ocorreu em julho de 2021, cinco semanas após seu início, tendo alcançado o total de 350 respostas. Em novembro do mesmo ano, passadas as maiores restrições de isolamento social para contenção do coronavírus, a aplicação do respectivo questionário voltou a ser realizada presencialmente, tendo como foco a obtenção de respostas que suprissem lacunas de perfil da população municipal, conforme apresentado pelo IBGE. Na ocasião, as entrevistas aconteceram em pontos de transporte público municipal, em especial de ônibus, tendo sido alcançado 152 indivíduos da população porto-alegrense.

Os resultados foram avaliados estatisticamente, e sua significância foi testada através de teste de hipóteses denominado qui-quadrado, que tem o intuito de encontrar um valor da dispersão para duas variáveis categóricas nominais e avaliar a associação qualitativa existente.

Basicamente, o teste compara proporções, ou seja, possíveis divergências entre as frequências observadas e esperadas para um certo evento¹.

A. Apresentação da amostra

A.1. Perfil sociodemográfico

Em perspectiva demográfica, conforme o perfil municipal, as entrevistas alcançaram em maior parte pessoas do sexo feminino, declaradas brancas e com faixa etária predominante entre 16 e 30 anos – além disso, aproximadamente 82% dos entrevistados concentram-se entre 16 e 60 anos (População Economicamente Ativa), faixa etária que mais utiliza o transporte público (Gráficos 1 e 2 e 3).

¹ Para mais informações consultar Morettin, Pedro Alberto & Bussab, Wilton Oliveira. Estatística básica. Saraiva Educação SA, 2017.



Gráfico 1: Proporção de gêneros da amostra

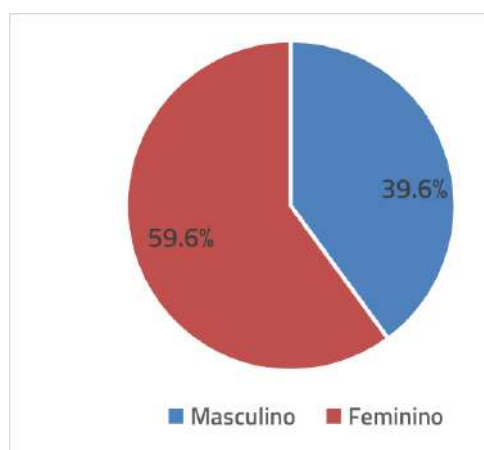


Gráfico 2: Proporção de auto identificação da amostra

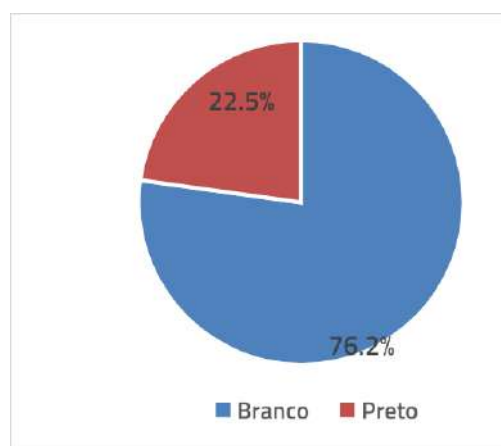
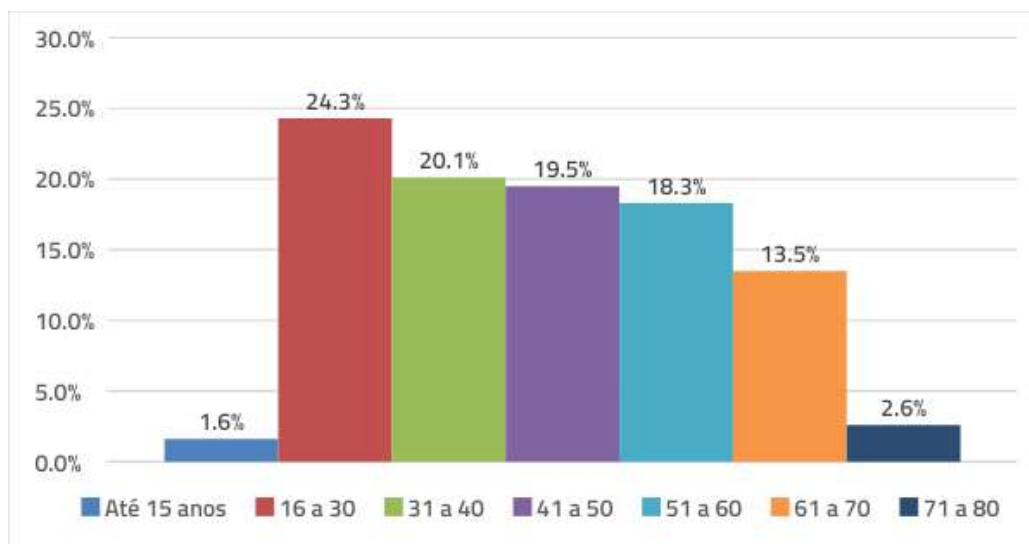


Gráfico 3: Proporções de faixas etária da amostra



Dos entrevistados, a ocupação predominante correspondeu a funcionários do setor público, seguido de trabalhadores do setor privado, ainda que tenha sido observada expressiva representatividade de estudantes e trabalhadores autônomos (Gráfico 4). Com relação à renda,



mais da metade da amostra declarou apresentar renda domiciliar mensal superior a R\$5 mil, enquanto a segunda maior declarada nas entrevistas, em proporção ao total de entrevistados, foi equivalente ou superior a R\$10 mil (Gráfico 5). Esse resultado demonstra um viés de renda média acima do esperado para o universo da população, possivelmente consequência da maior dificuldade de indivíduos de menor renda (usualmente, de menor escolaridade) em responder questionários de forma virtual. Por essa razão, como na questão da escolaridade, estratificou-se os respondentes por faixa de renda para perceber possíveis diferenciações de resposta entre estes grupos.

Gráfico 4: Proporção das ocupações da amostra

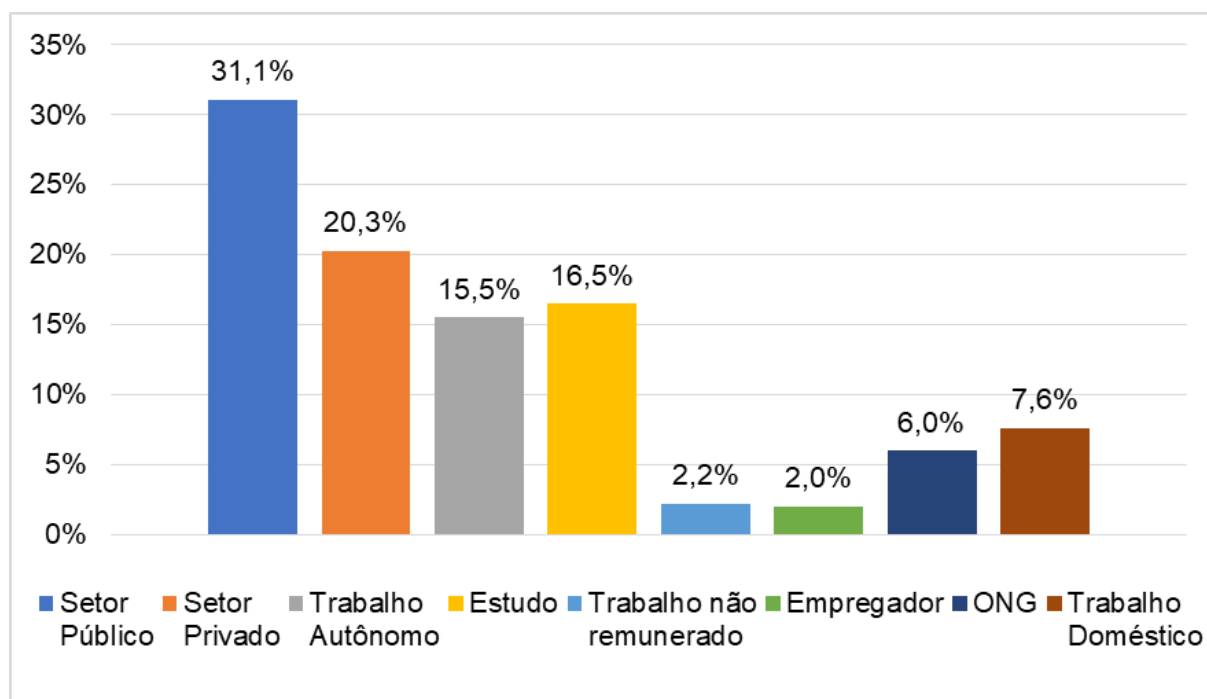
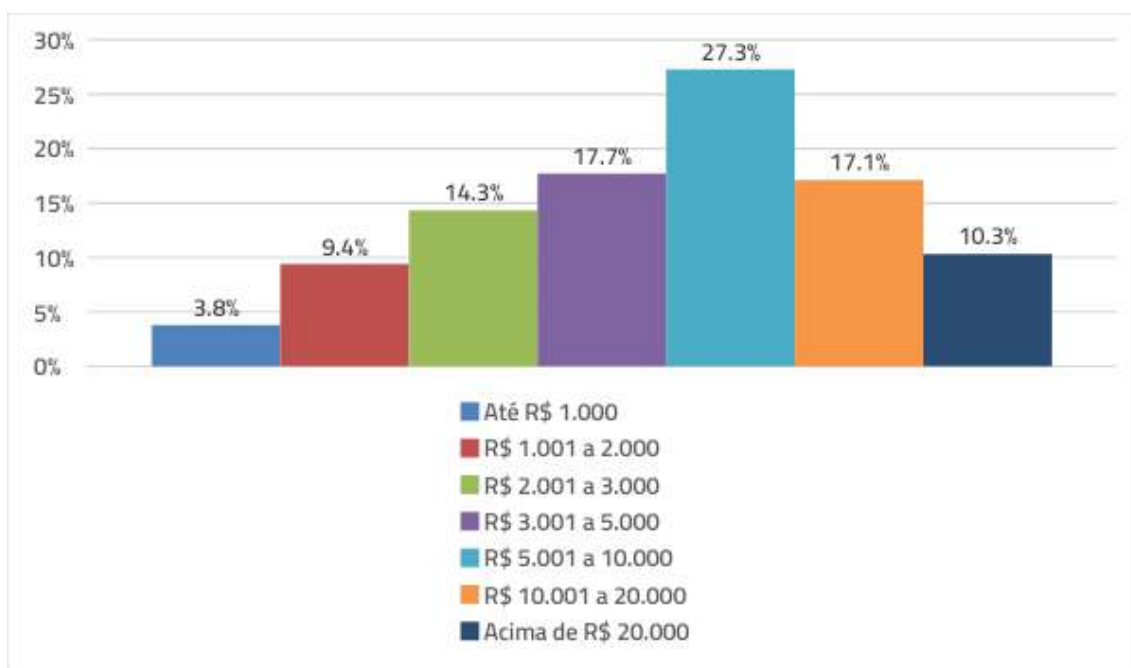




Gráfico 5: Proporção da renda domiciliar mensal da amostra



A partir dos resultados encontrados, realizou-se o cruzamento dos dados de auto identificação, estratificado em brancos (~76%) e não brancos (~24%), com as seguintes variáveis: frequência de uso semanal do transporte público, escolaridade e renda.

A proporção de usuários que utilizam por mais de 3 dias o transporte público é maior entre os não brancos do que entre os brancos; em contrapartida, a proporção dos que não usam é menor entre os não brancos do que entre os brancos (Gráfico 6). Também, da parcela entrevistada, nota-se uma maior proporção de entrevistados com graduação completa entre os brancos do que entre os não brancos (Gráfico 7). Além disso, há uma grande discrepância nas categorias associadas à renda entre os brancos e não brancos; enquanto mais de 60% dos brancos recebem acima de R\$5 mil, entre os não brancos, esse valor é de 32% (Gráfico 8).



Gráfico 6: Proporção das variáveis Identificação x Frequência de uso semanal do transporte público da amostra

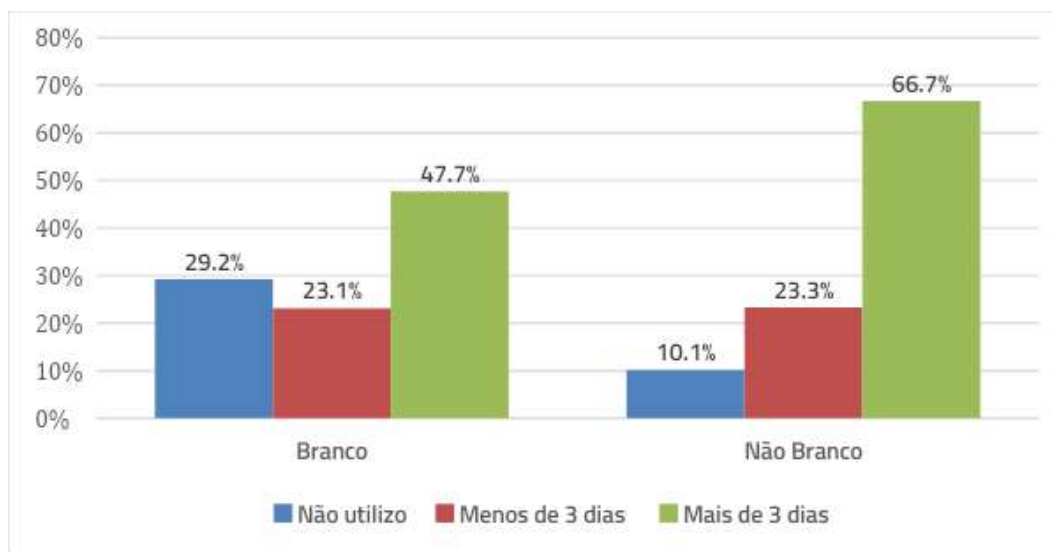


Gráfico 7: Proporção das variáveis Identificação x Grau de escolaridade da amostra

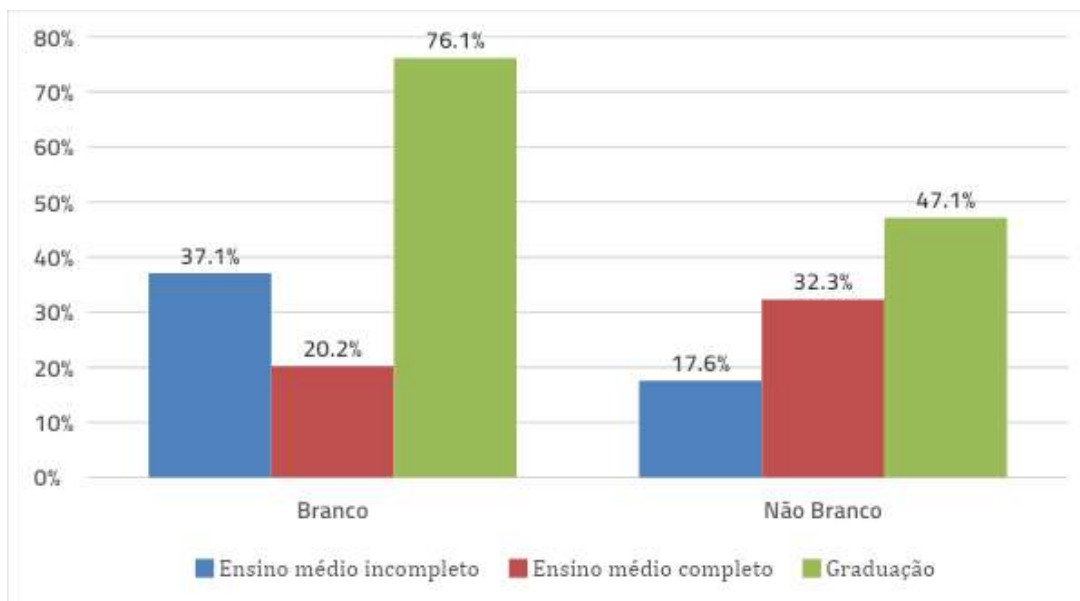
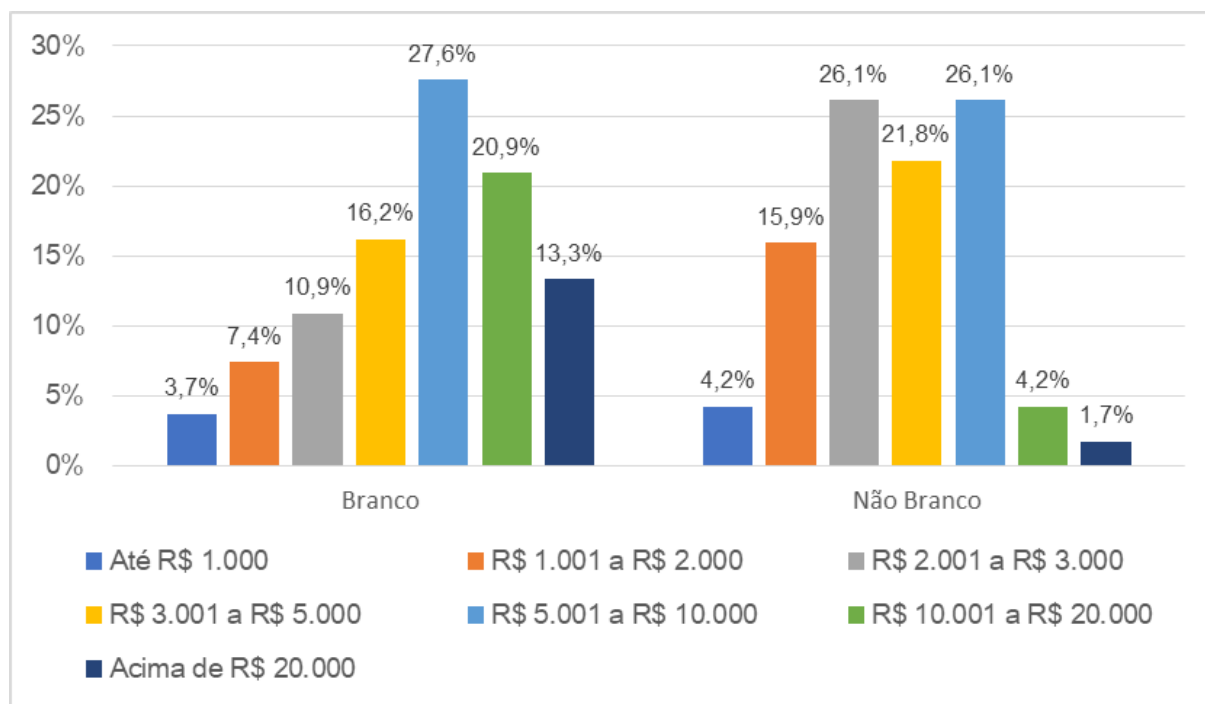


Gráfico 8: Proporção das variáveis Identificação x Renda domiciliar mensal da amostra



A.2. Uso/ Percepção do transporte público

A maior parte dos entrevistados afirmou utilizar o transporte público entre 3 e 5 dias na semana, enquanto a segunda categoria mais frequente foi “não utilizava”, seguida por “até 2 dias na semana” (Gráfico 9). Diariamente, a utilização predominante foi de até 2 ônibus para deslocamento (Gráfico 10).



Gráfico 9: Proporção das faixas de frequência de uso semanal do transporte público² da amostra

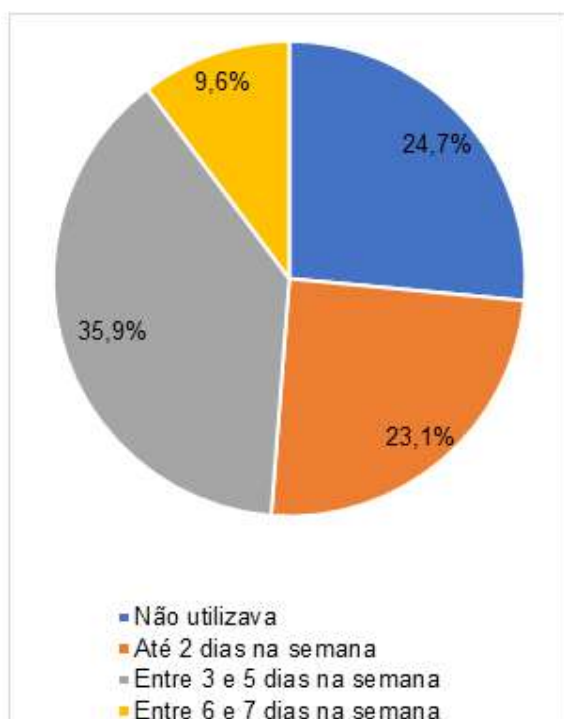
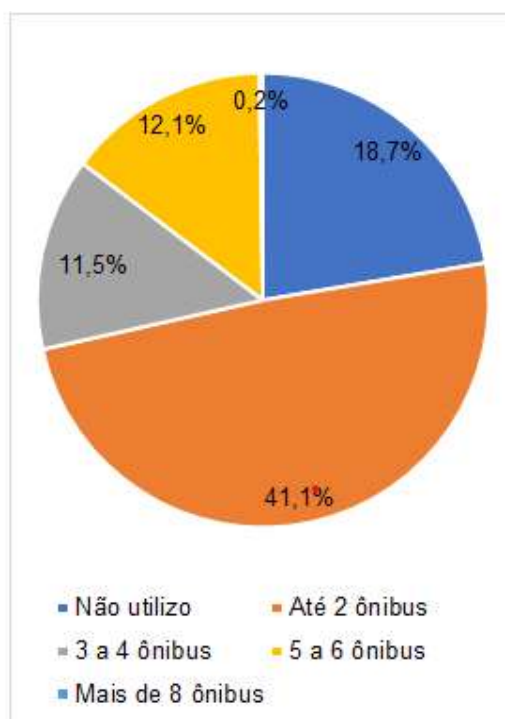


Gráfico 10: Proporção das faixas de uso médio diário do transporte público da amostra



Os resultados indicam ainda que cerca de 41% dos respondentes habitam relativamente próximo do trabalho, utilizando o transporte para ir e regressar de sua atividade para sua residência. Possíveis razões entre os que utilizam mais de 3 ônibus diariamente são residir em outro município ou realizar mais de uma atividade no dia (estudantes que fazem atividades além da escola, ou pessoas que têm mais de um emprego).

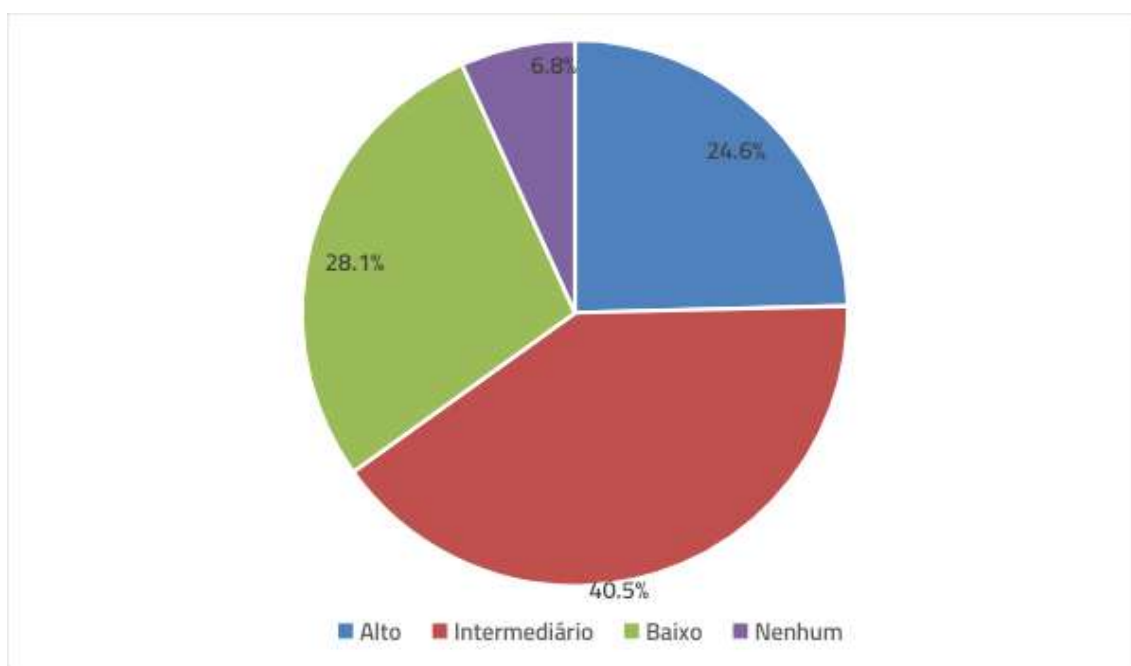
² Há respostas em branco para essa variável, por esta razão as categorias não totalizam 100%.



Na amostra, observou-se, ainda, que 47% dos entrevistados apresentam o trabalho como principal motivação de uso do transporte público; ensino corresponde a quase 18%, enquanto as categorias “Lazer”, “Saúde” e “Compras” têm um caráter mais ocasional e, por isso, são as motivações com menor parcela de resposta - juntas somam 15,2%.

Com relação ao nível de conhecimento dos respondentes acerca das mudanças climáticas, a maior parte da amostra respondeu ter conhecimento “Intermediário”, seguido pelos que responderam ter conhecimento “Alto” (Gráfico 11). Para compreender melhor o padrão de respostas, os resultados foram estratificados, ainda, em duas categorias: conhecimento “Alto” ou “Intermediário” (~65%), e conhecimento “Baixo” ou “Nenhum” (~35%). De todo modo, isso indica um nível considerável de interesse ou preocupação da população com o tema.

Gráfico 11: Proporção do nível de conhecimento sobre impactos da mudança do clima da amostra



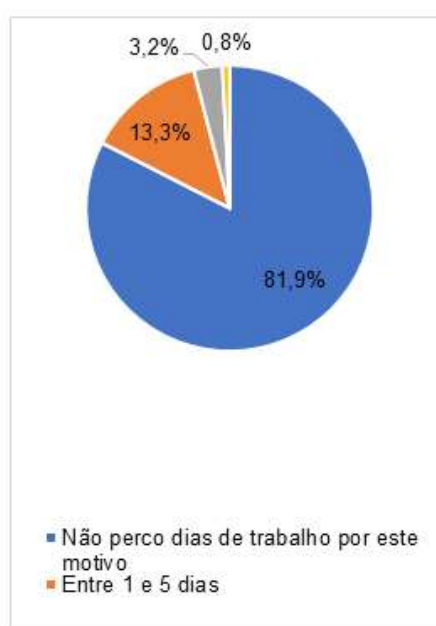


Quanto à perda de dias de trabalho anual por conta de problemas respiratórios e cardiorrespiratórios, os resultados mostram de forma expressiva a indicação de que a maior parte da amostra não perde dias de trabalho por este motivo (Gráficos 12 e 13). Porém, aproximadamente 12% responderam perder de 1 a 5 dias em decorrência de problemas respiratórios, e um número não desprezível (~2%) respondeu perder entre 6 e 10 dias. O número de declarações apontando perda de 1 a 5 dias e entre 6 e 10 dias por conta de cuidados com pessoas próximas que tivessem problemas cardiorrespiratórios é maior do que no caso de problemas respiratórios. Os dados demonstram a relevância de problemas de saúde, especialmente doenças respiratórias e cardiorrespiratórias, causadas pela poluição atmosférica no município.

Gráfico 12: Proporção dos dias de perda de trabalho anual para cuidar de indivíduos com sintomas respiratórios da amostra

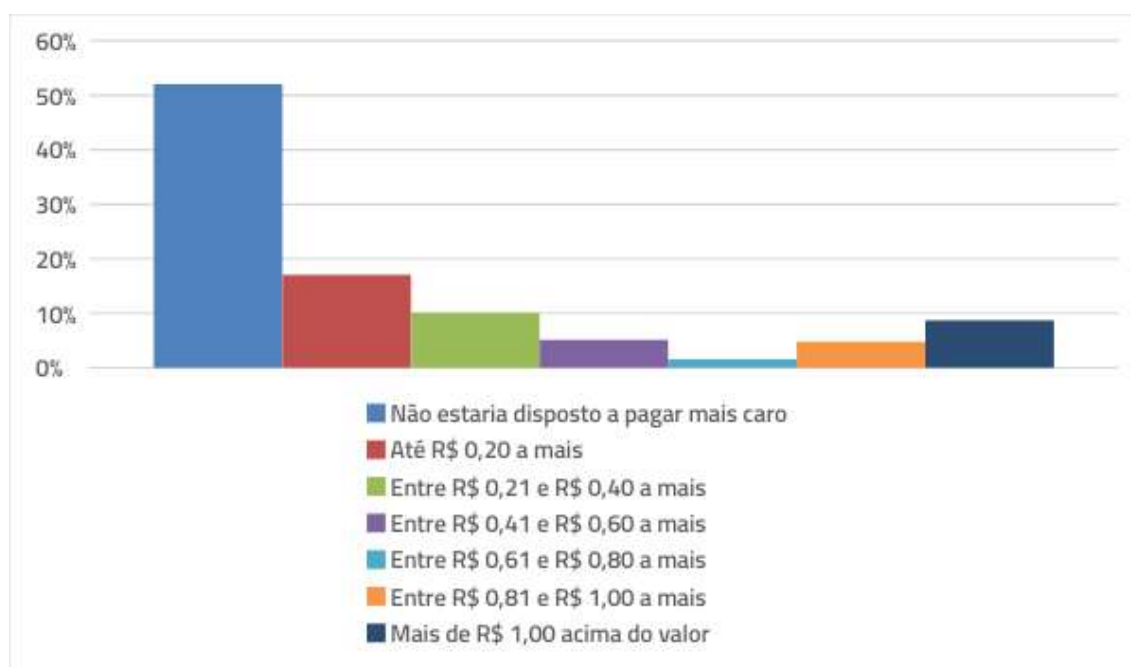


Gráfico 13: Proporção dos dias de perda de trabalho anual para cuidar de indivíduos com sintomas cardiorrespiratórios da amostra



Para reduzir a poluição e emissão de gases de efeito estufa causados pelos ônibus em Porto Alegre, mais da metade dos respondentes afirmaram não estar dispostos a pagar a mais do que o preço atual pelas passagens para redução das emissões dos transportes públicos; somados aos que responderam que pagariam até R\$ 0,20, esse montante chega a 69,1%, mais de dois terços da amostra (Gráfico 14). A parcela da população que afirma estar disposta a pagar para reduzir o problema é considerável (48%), mesmo que um valor relativamente pequeno. Isso demonstra a importância da qualidade do ar para essas pessoas, e da necessidade de políticas públicas para mitigar o problema.

Gráfico 14: Proporção das respostas para a questão sobre disposição a pagar pela redução de emissões de GEE causadas pelos ônibus da amostra



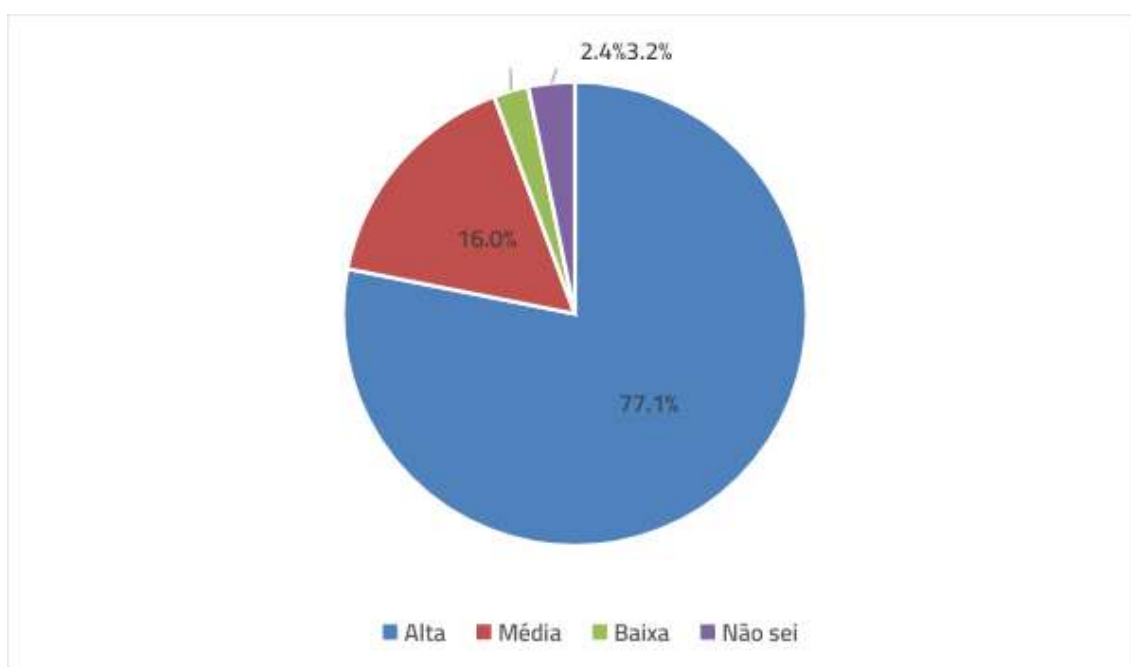
Para as análises subsequentes, as variáveis desta última questão apresentada foram reunidas em duas subcategorias: “Não Pagaria”, referente à categoria “Não estaria disposto a



pagar mais caro”; e “Pagaria”, referente a todas as outras, em que há uma disposição a pagar. Na primeira categoria encontram-se 52% da amostra enquanto na segunda estão 48%.

Para enfrentar a poluição e reduzir emissões de gases de efeito estufa localmente, a prioridade de investimento da Prefeitura de Porto Alegre em transporte público sustentável é considerada alta para mais de três quartos dos respondentes; somados àqueles que responderam prioridade mediana, o montante chega a mais de 90% da amostra, próximo da totalidade dos entrevistados (Gráfico 15).

Gráfico 15: Distribuição das proporções (em porcentagem) das respostas (categorias) para a questão sobre nível de prioridade em relação à redução de emissões de GEE



Embora possa haver um viés do entrevistador, pelo qual o entrevistado possa se sentir impelido a dar a resposta considerada mais aceita pela sociedade, esse alto valor sugere, com

algum grau de segurança, que a população do município de Porto Alegre requer que ocorram modificações nos transportes com relação ao nível de poluição que emitem. Trata-se, nesse sentido, de uma questão relevante a ser deliberada pelos agentes responsáveis.

Considerando o recorte da variável entre as categorias de prioridade de investimento “Alta” e “Outras”, sendo que essas não apresentam a mesma compreensão de urgência, analisou-se a disposição a pagar (DAP) das respectivas ações. Percebe-se que as respostas encontradas caminham para direções opostas. Na primeira se conclui pela baixa prioridade dada pela população ao tema, e na segunda pela alta prioridade. Como já citado, o fato da ocorrência de uma DAP baixa pode significar que as pessoas consideram a passagem vigente relativamente cara, que o valor existente já seria suficiente para financiar essa questão, ou ainda que essa não é a melhor forma para lidar com este problema.

A.3. Relação renda domiciliar mensal

Com o intuito de avaliar possíveis correlações, foram realizados cruzamentos entre a renda domiciliar mensal e as seguintes variáveis: frequência semanal de uso e uso médio diário de ônibus.

Em relação ao número de ônibus utilizados diariamente por renda média domiciliar, nota-se que conforme a renda aumenta, o percentual diminui na categoria “mais de três ônibus” e aumenta na categoria “não utilizo” (Gráfico 16). Ou seja, o uso médio diário tende a cair à medida que a renda aumenta. Isso revela que os grupos sociais que mais demandam o transporte público são os de menor renda. Isso também fica evidente no cruzamento da renda média domiciliar com a frequência semanal de uso de transporte público (Gráfico 17).



Gráfico 16: Proporção das variáveis Renda domiciliar mensal x Uso médio diário do transporte público da amostra

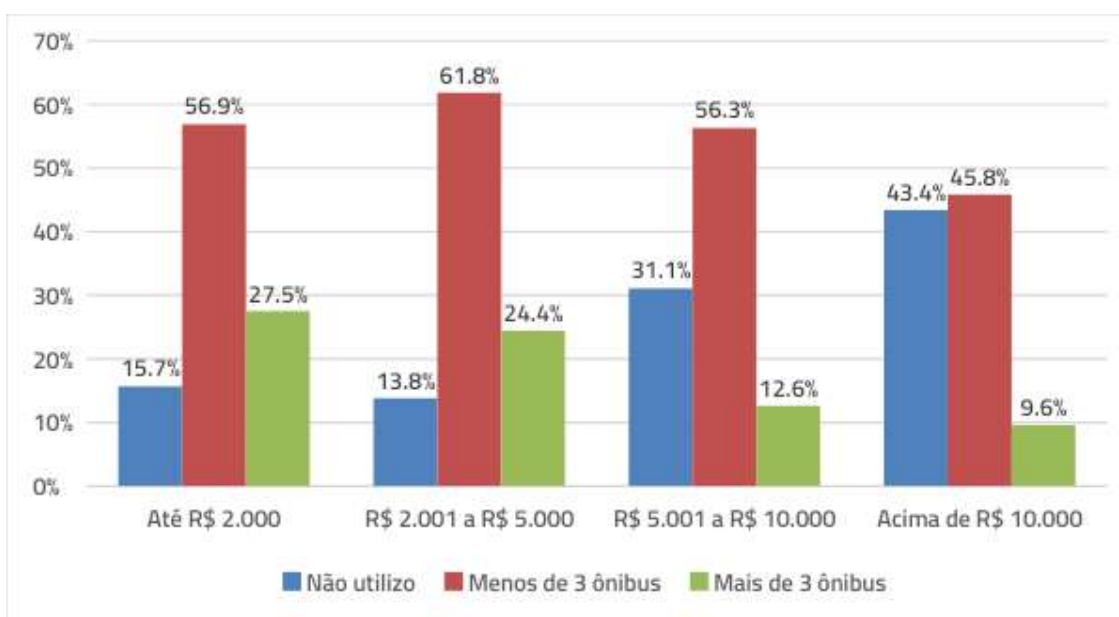
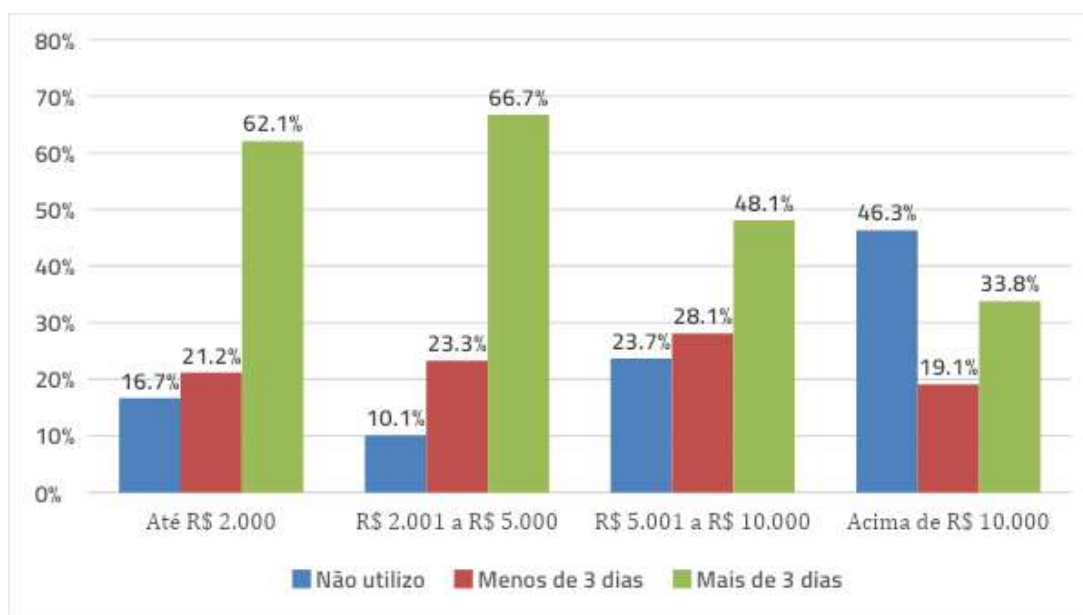


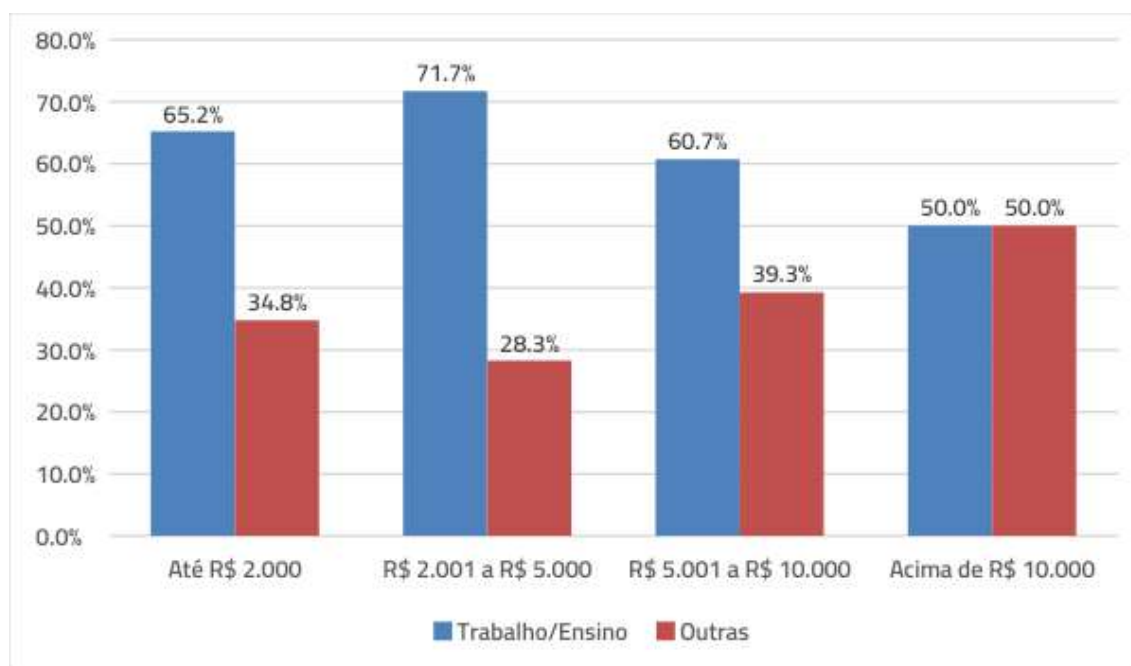
Gráfico 17: Proporção das variáveis Renda domiciliar mensal x Frequência de uso semanal do transporte público da amostra



Como esperado, à medida que a renda aumenta, a frequência de uso semanal é reduzida - a proporção de respondentes com renda até R\$2 mil que declaram usar ônibus mais de três dias por semana é quase o dobro da proporção dos que têm mais de R\$10 mil de renda média. Em contraste, a proporção dos que não utilizam no grupo de renda acima de R\$10 mil é quase três vezes superior àqueles que declaram não utilizar na faixa de renda até R\$2 mil.

O cruzamento das respostas de motivação de uso do transporte público e o nível de renda mostra que quanto menor a renda, maior é, também, sua utilização para trabalho e ensino. Contudo, em todas as faixas de renda, o uso para trabalho e ensino é majoritário, evidenciando a importância dessas motivações para todos os grupos sociais (Gráfico 18).

Gráfico 18: Proporção das variáveis Renda domiciliar mensal x Principal motivação de uso do transporte público da amostra



B. Demanda (Disposição a Pagar e Prioridade): redução da poluição (emissões de GEE) proveniente do transporte público

A análise da distribuição conjunta das variáveis, bem como o teste qui-quadrado, foi utilizada para identificar e descrever a associação das demais variáveis sobre o nível de prioridade relativo às ações de redução das emissões de GEE derivada das frotas de ônibus do transporte público, e a disposição a pagar (DAP) para reduzir tais gases de aquecimento global.

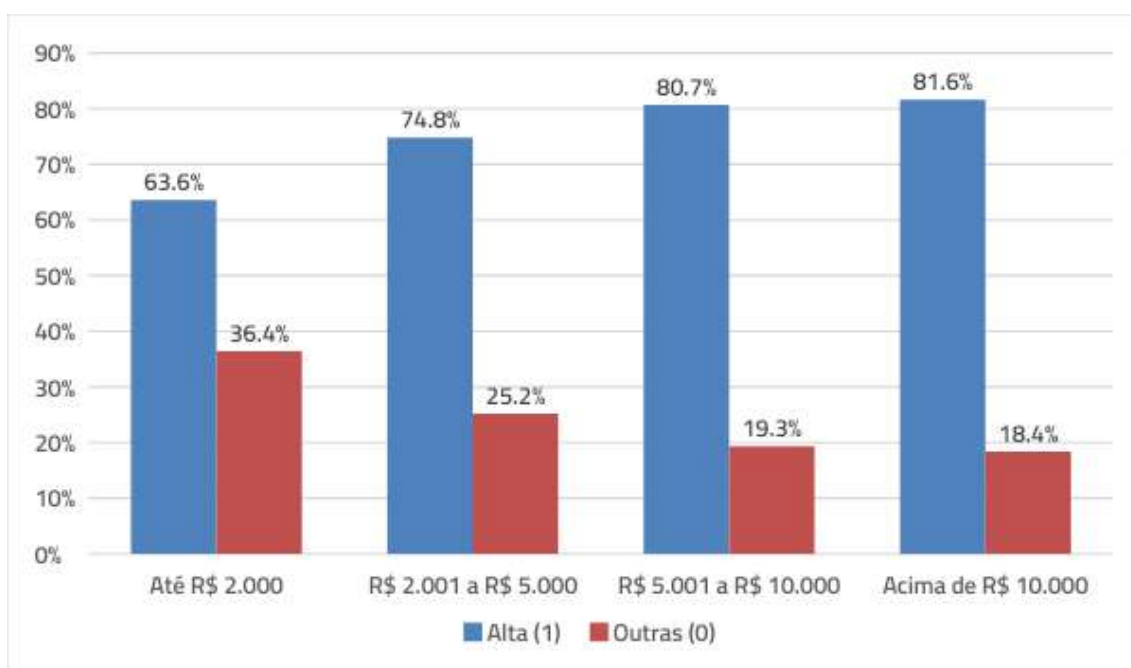


B.1. Nível de prioridade atribuído às medidas de enfrentamento à poluição oriunda das emissões de GEE

B.1.1. Nível de prioridade x Renda domiciliar mensal

Em todas as faixas de renda a prioridade “Alta” é prevalecente, mas percebe-se um aumento na proporção de respostas nessa categoria na medida em que a renda aumenta (Gráfico 19).

Gráfico 19: Proporção das variáveis Nível de prioridade de investimento em redução de emissões x Renda domiciliar mensal da amostra



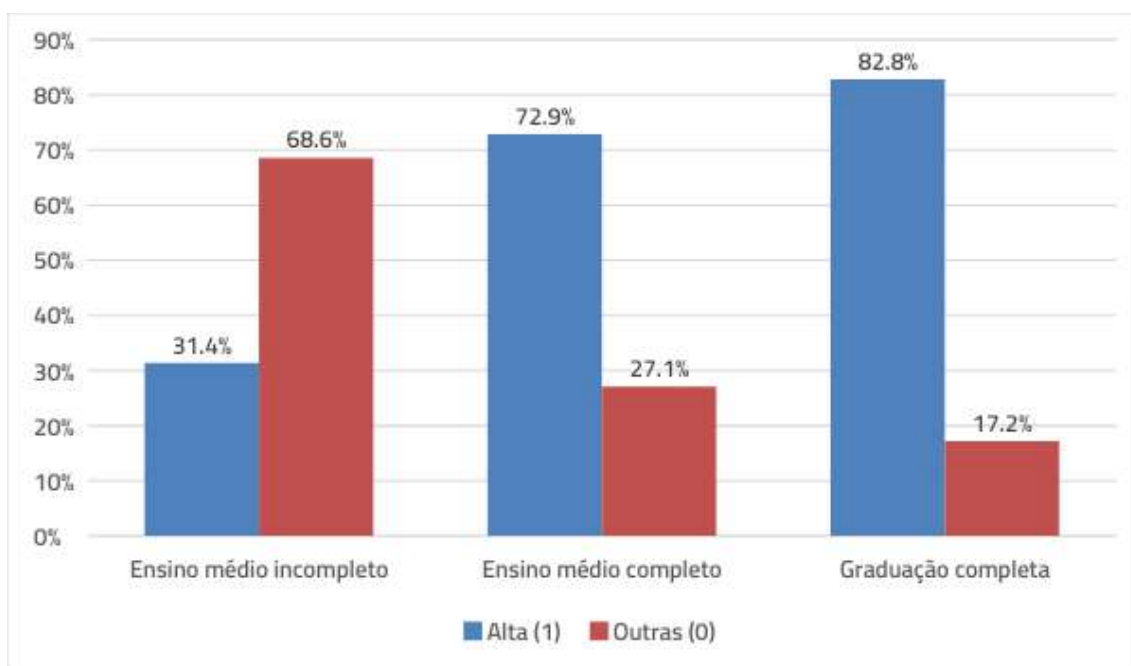
A aplicação de um teste qui-quadrado indicou que a associação entre essas variáveis é significativa ao nível de 5% (ou seja, existe uma correlação estatisticamente significativa com 95% de confiança). Isso se dá, possivelmente, pela autocorrelação entre as variáveis renda e

escolaridade: uma renda mais alta está associada a uma maior escolaridade, levando a uma maior priorização à redução de emissões de GEE no município de Porto Alegre. Por outro lado, deve-se ressaltar que a prioridade alta é atribuída por mais de 60% dos respondentes em todas as categorias, indicando sua relevância para a política pública.

B.1.2. Nível de prioridade x Escolaridade

O cruzamento das respostas obtidas para o nível de prioridade de investimento em mitigação climática com as respostas referentes à escolaridade indica que, conforme o nível de ensino aumenta, cresce também a indicação de relevância na priorização das respectivas ações para redução de GEE (Gráfico 20). Para verificar de maneira mais apurada a existência da associação em questão, realizou-se o teste qui-quadrado, que apontou um nível de significância de 5% - evidenciando que a escolaridade influencia as respostas relativas ao nível de prioridade de investimento a ser atribuído para a redução de emissões de GEE no município de Porto Alegre.

Gráfico 20: Proporções das variáveis Nível de prioridade de investimento em redução de emissões x Escolaridade da amostra



Entende-se que tal associação indica que aqueles que possuem maior escolaridade são os que detêm maior acesso à informação sobre o tema e, por isso, compreendem melhor a importância de assumir com urgência medidas de enfrentamento à questão. Isso também revela a importância de disseminar informações sobre mudanças climáticas para grupos sociais de menor escolaridade.

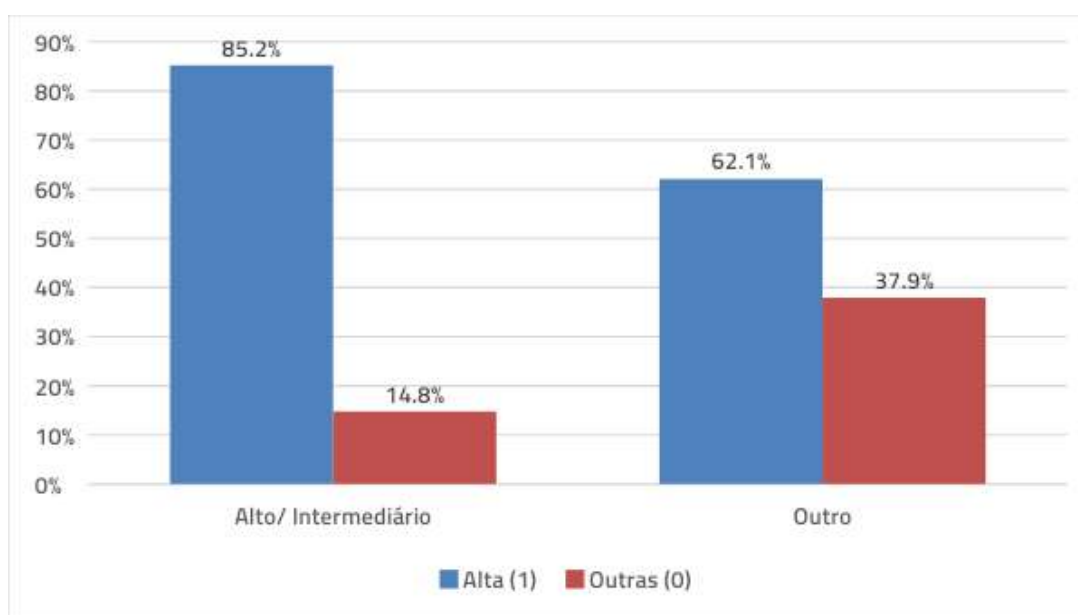
B.1.3. Nível de prioridade x Nível de conhecimento sobre emissões de GEE

O cruzamento das respostas referentes ao nível de prioridade de investimento com os níveis de conhecimento indica que, aqueles que afirmam ter alto nível de conhecimento atribuem



uma maior importância à respectiva aplicação de recursos para mitigação de GEE, se comparados aos que afirmam terem níveis de conhecimento abaixo do intermediário (Gráfico 21). Ou seja, quanto maior o nível de conhecimento, maior a importância dada à redução de emissões. O teste qui-quadrado reforça tal resultado, uma vez que tenha identificado nível de significância de 5%.

Gráfico 21: Proporção das variáveis Nível de prioridade de investimento em redução de emissões x Nível de conhecimento sobre mudança do clima da amostra

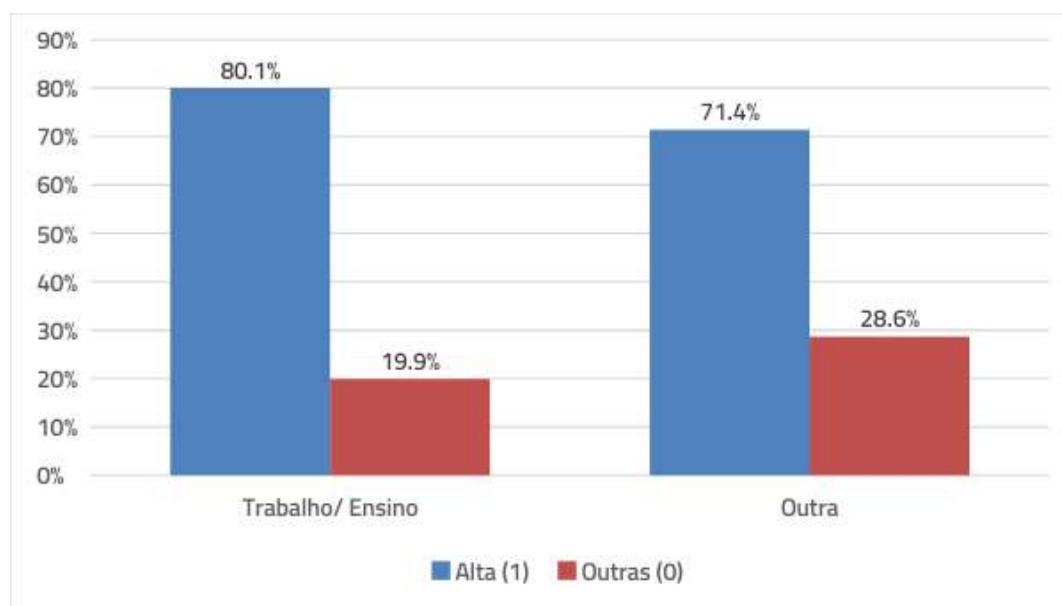


Sendo assim, aqueles que detêm um maior entendimento sobre o tema são também os que atribuem maior nível de prioridade de investimento na redução das emissões de GEE causadas pelos ônibus. Novamente, os resultados do questionário aplicado demonstram a importância de informação à população sobre as mudanças climáticas, suas causas, implicações e possibilidades de solução, incluindo melhoria na mobilidade urbana.

B.1.4. Nível de prioridade x Principal motivação de uso do transporte público

Embora o nível de prioridade de investimento seja bastante alto em todas as categorias de motivação de utilização do transporte público, o resultado é mais expressivo para o grupo que declarou ter trabalho e ensino como principal motivo de deslocamento (Gráfico 22). O teste qui-quadrado confirmou a associação.

Gráfico 22: Proporção das variáveis Nível de prioridade de investimento em redução de emissões x Principal motivação de uso do transporte público da amostra

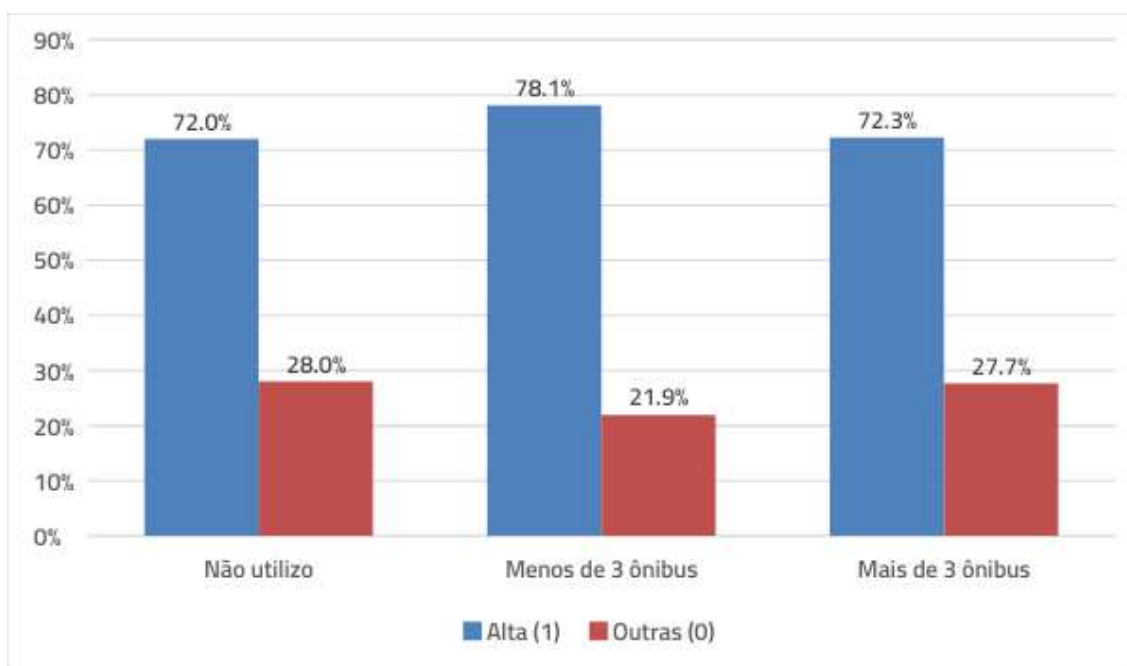


Sobretudo aqueles que usam o transporte público para trabalho e ensino atribuem maior prioridade para investimento em redução de emissões de GEE, se comparado aos que usam para outras finalidades.

B.1.5. Nível de prioridade x Uso médio diário

A proporção de respondentes para o alto nível de prioridade de investimento não difere significativamente das demais, indicando que, possivelmente, não há uma correspondência entre a intensidade do uso diário e o nível de prioridade dado à redução de emissões de GEE pelos ônibus (Gráfico 23).

Gráfico 23: Proporção das variáveis Nível de prioridade de investimento em redução de emissões x Uso médio diário do transporte público da amostra



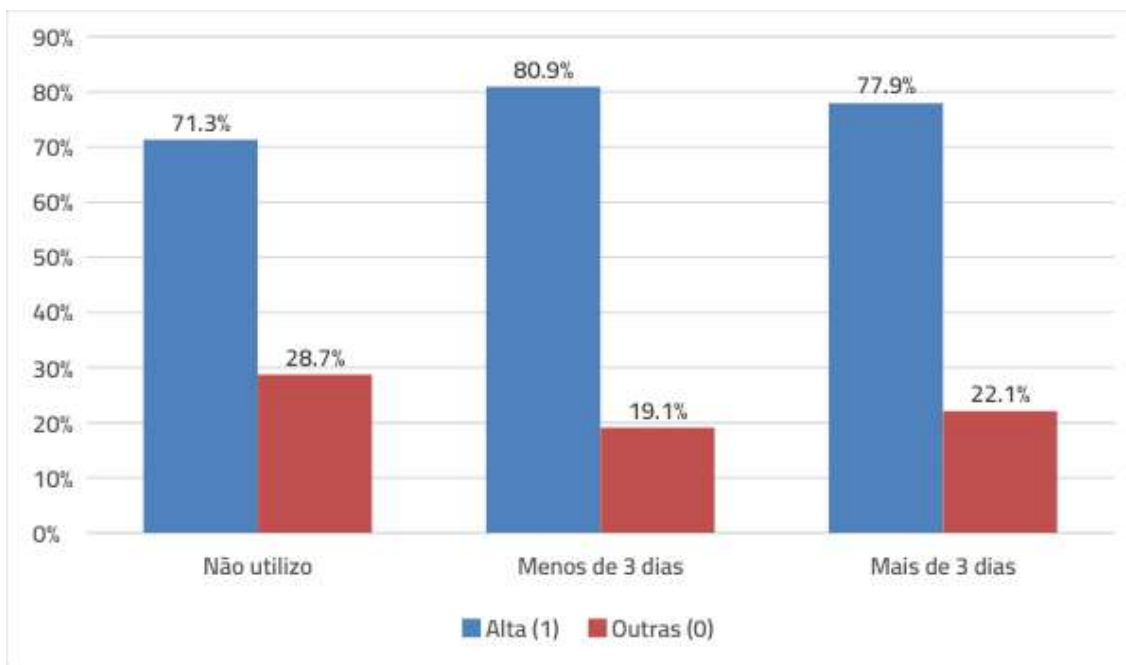
Além disso, não há presença de uma linearidade, na qual a proporção, na categoria de alta prioridade, aumenta ou diminui conforme aumenta ou diminui a intensidade de uso do respectivo modal de deslocamento. O teste qui-quadrado indicou, também, não haver associação entre as variáveis.



B.1.6. Nível de prioridade x Frequência de uso semanal do transporte público

A associação entre frequência de dias de uso de ônibus por semana com o nível de prioridade para investimento em redução de emissões mostrou que há uma pequena diferença na proporção daqueles que não utilizam, indicando que esses podem atribuir importância menor ao tema. Ao mesmo tempo, não há diferença significativa entre os que utilizam por mais de três dias e os que utilizam por menos de 3 dias. Contudo, entre os que utilizam e os que não utilizam, há uma diferença na relevância dada ao tema (Gráfico 24).

Gráfico 24: Proporção das variáveis Nível de prioridade de investimento em redução de emissões x Frequência de uso semanal do transporte público da amostra



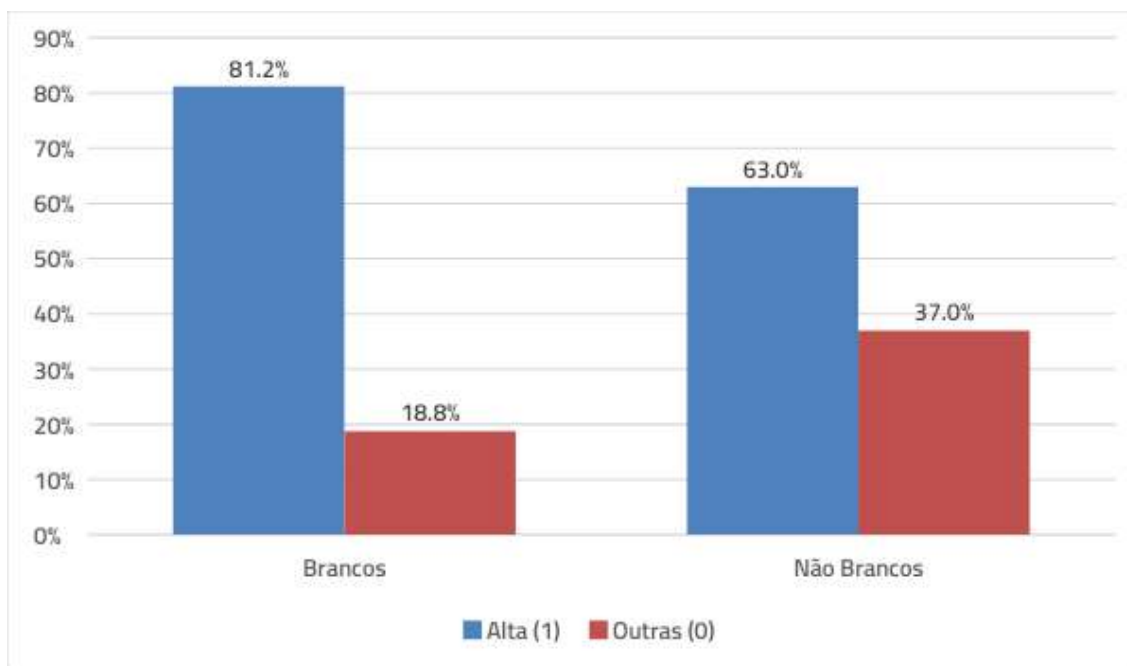


O teste qui-quadrado, com nível de significância de 5%, indicou não existir associação entre as variáveis. Ou seja, a frequência de uso semanal não influencia as respostas relativas ao nível de prioridade que deve ser atribuído à redução de emissões de GEE no município de Porto Alegre.

B.1.7. Nível de prioridade x Identificação

Para ambas as categorias da variável de identificação racial houve maior expressão de respostas para alta prioridade de investimento em redução de emissões, ainda que a categoria “brancos” tenha apresentado maior proporção (Gráfico 25). Sugere-se, de tal maneira, que atribuem maior prioridade à redução das emissões comparados aos não brancos.

Gráfico 25: Proporção das variáveis Nível de prioridade de investimento em redução de emissões x Identificação racial da amostra



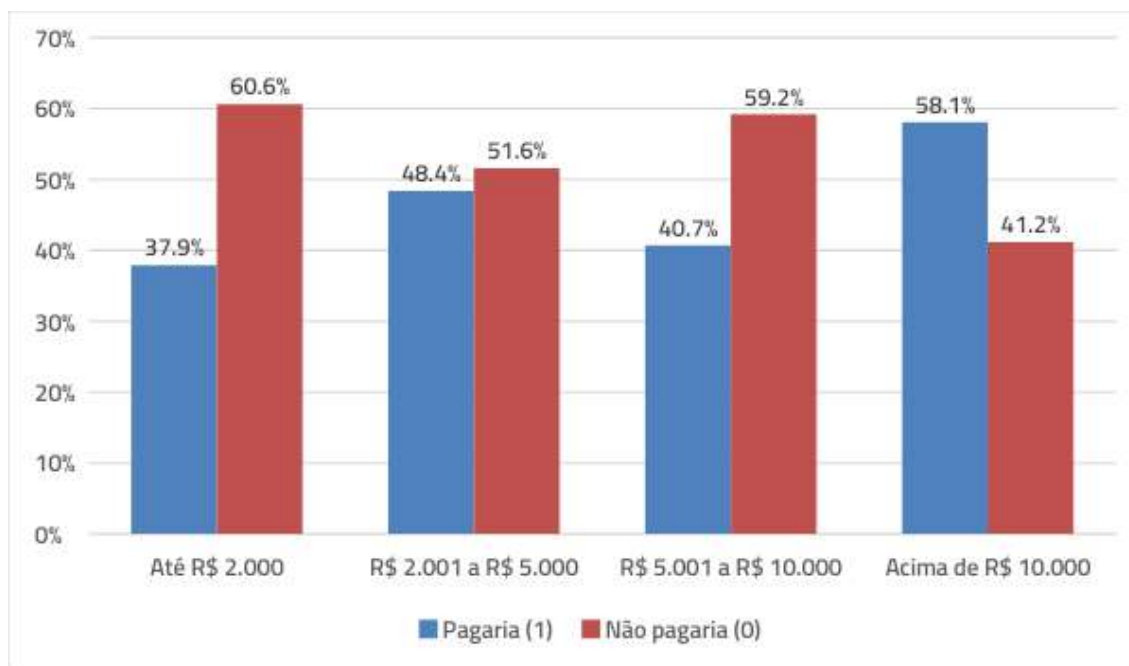
O resultado se explica devido às tendências de menor atribuição de prioridade conforme caem a renda e escolaridade. Mais uma vez, por meio do teste qui-quadrado, foi possível averiguar associação entre as variáveis, reforçando a influência da identificação em respostas relativas ao nível de prioridade que deve ser atribuído à redução de emissões de GEE no município de Porto Alegre.

B.2. Disposição a Pagar

B.2.1. Disposição a pagar x Renda domiciliar mensal

A disposição a pagar a mais por passagens de transporte público sustentável aumenta com o nível de renda (Gráfico 26). A maior proporção na categoria “pagaria” está na categoria de renda mais alta (acima de R\$10.000), enquanto a categoria de menor faixa de renda (abaixo de R\$2.000) é a que apresenta a menor proporção. O teste qui-quadrado, com nível de significância de 5%, indicou associação entre as variáveis.

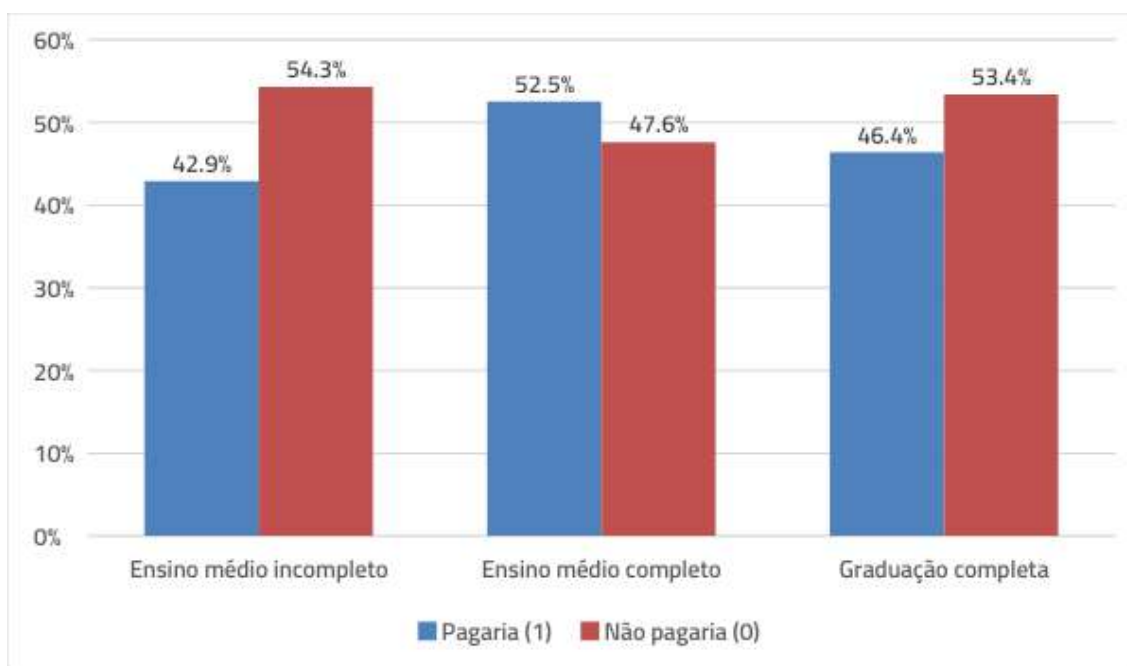
Gráfico 26: Proporção das variáveis Disposição a pagar pela redução de emissões x Renda domiciliar mensal da amostra



B.2.2. Disposição a pagar x Escolaridade

Não há tendência clara de relação entre as categorias de disposição a pagar a mais por ônibus de transporte público sustentável e escolaridade (Gráfico 27). Contudo, destaca-se que somente aqueles com ensino médio completo mostraram correlação positiva com a categoria DAP. O teste qui-quadrado indicou não existir associação entre as variáveis.

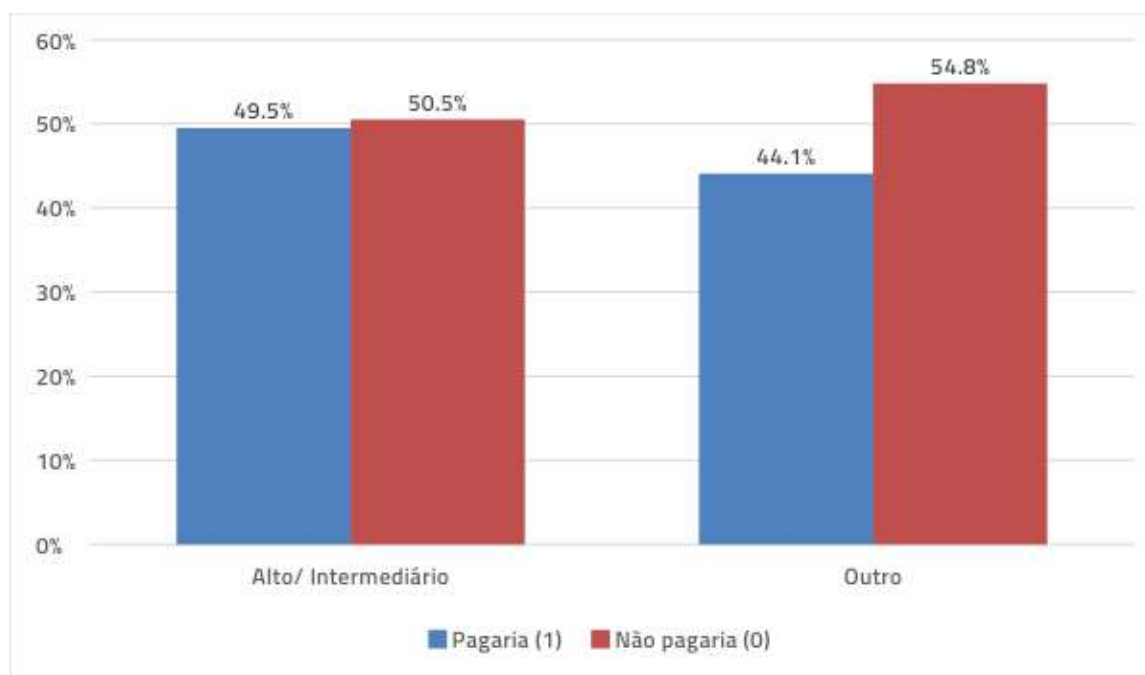
Gráfico 27: Proporção das variáveis Disposição a pagar pela redução de emissões x Escolaridade da amostra



B.2.3. Disposição a pagar x Nível de conhecimento

Não se identificou associação significativa (nível de 5%) entre as variáveis de disposição a pagar a mais pelo uso de ônibus de transporte público sustentável e nível de conhecimento sobre mudanças climáticas através do teste qui-quadrado. Possivelmente a relação entre essas variáveis é mais complexa e envolve a interação de outros fatores que devem ser examinados em estudos futuros.

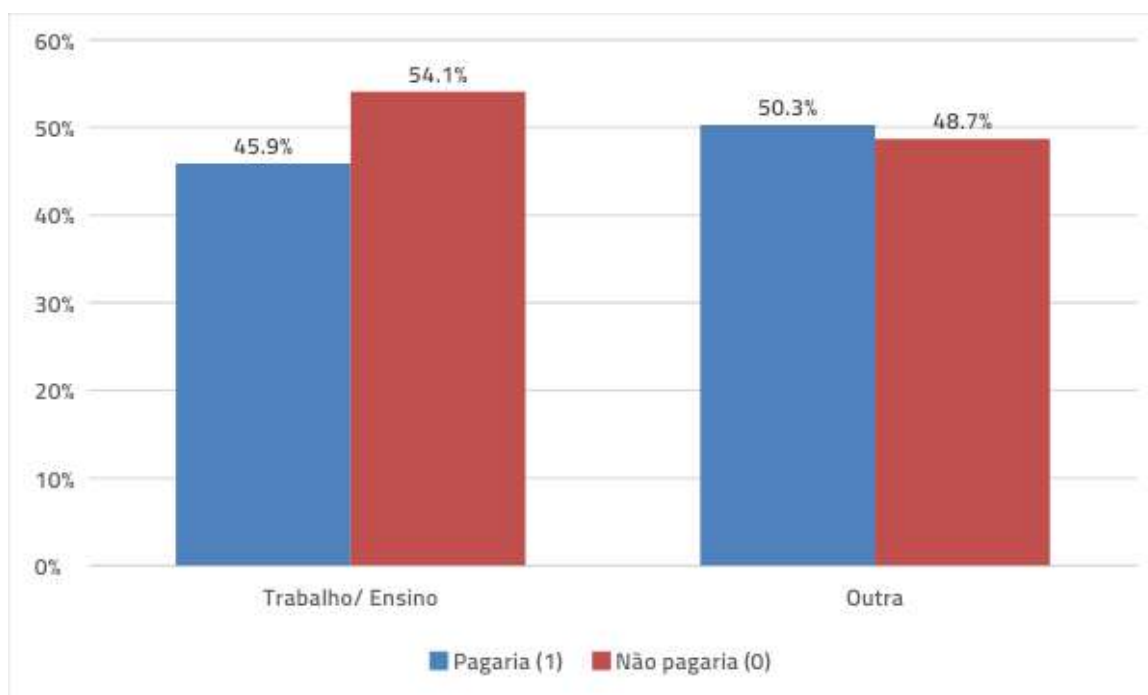
Gráfico 28: Proporção das variáveis Disposição a pagar pela redução de emissões x Nível de conhecimento sobre mudança do clima da amostra



B.2.4. Disposição a pagar x Principal motivação de uso do transporte público

As respostas apontam que, embora os valores sejam próximos à metade em ambas as categorias da variável sobre nível de conhecimento sobre mudanças do clima, a proporção de respostas de DAP positiva, ou seja, que pagariam, é um pouco maior no grupo que declarou nível alto ou intermediário de conhecimento sobre mudanças climáticas (Gráfico 29). Isso indica que um maior entendimento sobre o assunto pode levar a uma aceitabilidade maior de eventual cobrança por emissões.

Gráfico 29: Proporção das variáveis Disposição a pagar pela redução de emissões x Principal motivação de uso do transporte público da amostra



Não se identificou associação significativa entre essas variáveis, com resultados bastante próximos entre os grupos de análise. Isso é confirmado pelo teste qui-quadrado, que não encontrou associação significativa entre a principal motivação de trabalho e a disposição a pagar declarada para reduzir emissões.

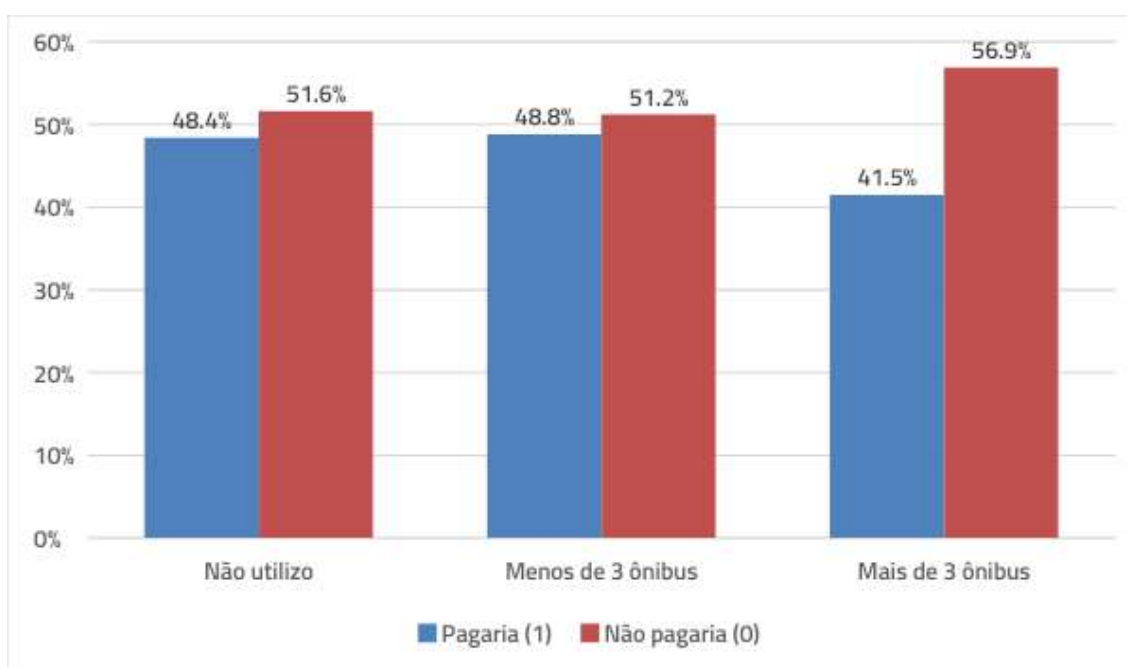
B.2.5. Disposição a pagar x Uso médio diário

A DAP por um aumento no preço da passagem de ônibus para que se faça uso de ônibus de transporte público sustentável, reduzindo emissões de GEE, é menor na medida em que se



avança para grupos que usam com maior frequência o modal em questão por dia (Gráfico 30). Isso é confirmado pelo teste qui-quadrado, que aponta uma associação inversa.

Gráfico 30: Proporção das variáveis Disposição a pagar pela redução de emissões x Uso médio diário do transporte público da amostra



Isso é explicável pois as pessoas com uso diário médio acima de 3 ônibus utilizam mais de seus orçamentos com passagens, influenciando negativamente a disposição de qualquer pagamento além daquele já praticado, uma vez que tal aumento seria ainda mais custoso aos seus recursos financeiros.

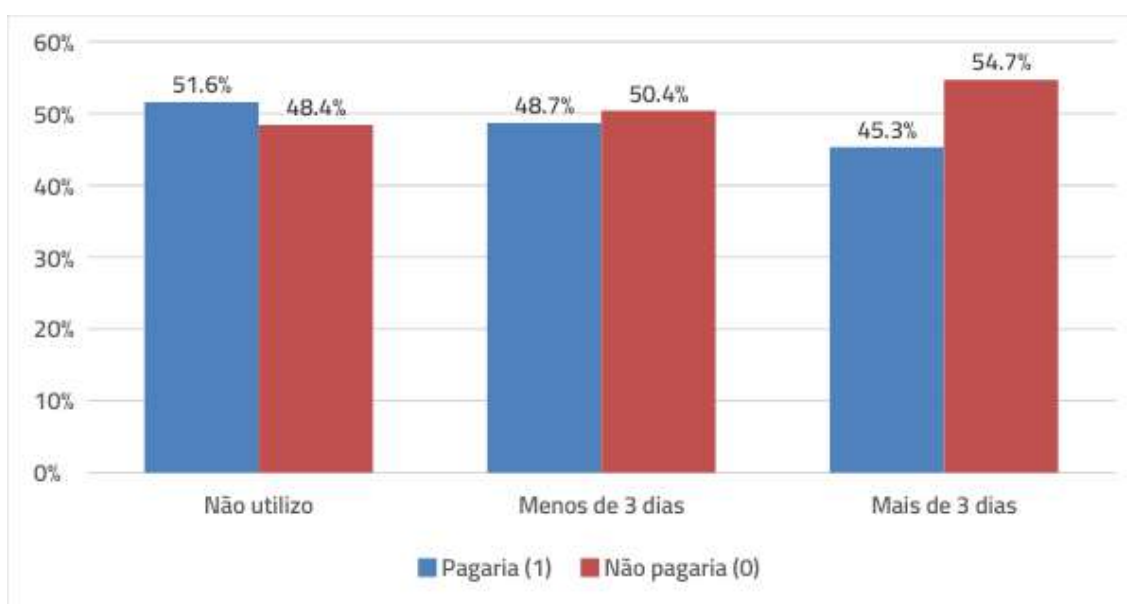
B.2.6. Disposição a pagar x Frequência semanal de uso do transporte público

Observa-se uma leve tendência de redução de respondentes que declararam uma DAP positiva conforme se aumenta a frequência semanal de uso transporte público (Gráfico 31). De



forma interpretativa, isso pode ser explicado pelo fato de que a cobrança por redução de emissões de GEE induzirá um aumento no custo do transporte, onerando quem utiliza ônibus de transporte público com maior frequência. Contudo, o teste qui-quadrado (nível de significância de 5%) indicou não existir associação entre as variáveis.

Gráfico 31: Proporção das variáveis Disposição a pagar pela redução de emissões x Frequência de uso semanal do transporte público da amostra



Conclusões parciais

A pesquisa realizada mostra que a utilização de ônibus de transporte público no município é predominantemente de 3 a 5 dias na semana. Em perspectiva diária, utiliza-se, em maior parte, até 2 ônibus para deslocamento, sendo observado que o uso médio diário é inversamente proporcional ao aumento de renda da população. Isso revela que os grupos sociais que mais demandam o transporte público são os de menor renda.

Além disso, a renda influenciou também na motivação principal de uso, de forma que quanto menor a renda maior é a utilização de tal modal de deslocamento para trabalho e ensino. Contudo, em todas as faixas de renda, o uso para trabalho e ensino é majoritário, evidenciando a importância dessas motivações para todos os grupos sociais.

Os níveis de conhecimento mais representativos acerca das mudanças climáticas mostraram ser intermediário e alto. Contudo, para reduzir a poluição e emissão de Gases de Efeito Estufa causados pelos ônibus em Porto Alegre, mais da metade da amostra afirmou não estar disposta a pagar a mais do que o preço atual pelas passagens para redução das emissões.

Por sua vez, cerca de 48% da população afirma estar disposta a pagar para reduzir o problema, mesmo que um valor relativamente pequeno. A respectiva disposição a pagar a mais por passagens de transporte público sustentável aumenta conforme sobe o nível de renda da população. Além disso, a DAP é menor na medida em que se avança para grupos que usam com maior frequência semanal e diária o modal em questão. Isso é explicável pois as pessoas com maior uso diário utilizam mais de seus orçamentos com passagens, influenciando negativamente a disposição de qualquer pagamento além daquele já praticado.

Contudo, ainda que boa parte da população não esteja disposta a arcar com tais custos, para enfrentar a poluição e reduzir emissões de gases de efeito estufa localmente, mais de três quartos dos respondentes afirmaram que a problemática é de alta prioridade de investimento da Prefeitura de Porto Alegre. Consideradas as diversas categorias de renda da amostra, mais da metade da população acredita, ainda, que tais investimentos apresentam grande prioridade. Ainda, observa-se que conforme o nível de ensino aumenta, cresce também a indicação de relevância na priorização das respectivas ações para redução de GEE.



Considerando os dados apresentados anteriormente junto a estes, pressupõe-se, portanto, que grande parte da amostra entende que os custos de tal mitigação de poluentes deva ser arcado pelo poder público municipal – o que reforça, mais ainda, a relevância da temática para a política pública em Porto Alegre.

Quanto à perda de dias de trabalho anual por conta de problemas respiratórios e cardiorrespiratórios, os resultados mostram de forma expressiva a indicação de que a maior parte da amostra não perde dias de trabalho por estes motivos. Porém, aproximadamente 12% responderam perder de 1 a 5 dias em decorrência de problemas respiratórios, e um número não desprezível (~2%) respondeu perder entre 6 e 10 dias, enquanto o número de declarações de perdas de trabalho por conta de doenças cardiorrespiratórias é ainda maior. Os dados demonstram a relevância de problemas de saúde, especialmente doenças respiratórias e cardiorrespiratórias, causadas pela poluição atmosférica no município, sendo necessária a tomada de providências para resolução da problemática.

4. ANÁLISE DO MATERIAL PARTICULADO FINO (MP2,5)

O Material Particulado fino (MP2,5) é um indicador da qualidade do ar para a saúde. Para identificar os casos de óbitos e morbidade associados à exposição à poluição atmosférica no município de Porto Alegre, considerou-se a tolerância de 10µg/m³ de MP2,5 para que a saúde humana não seja prejudicada com a exposição a longo prazo do respectivo poluente, com base no padrão orientado pela Organização Mundial da Saúde (WHO, 2006; CETESB, 2018).

Utilizando a metodologia desenvolvida por Pabst (2020) e Saldiva et al. (2018), baseando-se em recomendações da Environmental Burden of Disease (Ostro, 2014) e empregando uma regressão de Poisson (Rothman, KJ e Greenland, S., 1998), este capítulo teve por objetivo identificar impactos de mortalidade e morbidade da população de Porto Alegre referentes ao poluente em questão.

As fórmulas empregadas na metodologia são detalhadas no Quadro 1, abaixo:

Quadro 1: Modelo geral aplicado para estimativa de desfechos relacionados ao MP2,5

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

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 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

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

Cálculo da fração atribuível (ou fração de impacto) do efeito sobre a saúde decorrente da exposição ao material particulado fino.

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

Número de eventos de morbidade ou mortalidade da exposição ao poluente em estudo.

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.

O produto das variáveis (B) e (P) ser substituído pelo número total dos desfechos em saúde no estudo, caso disponível.

Fonte: Saldiva et al. (2018).



Risco relativo de determinado desfecho (RR)

Para a estimativa do risco relativo de um determinado tipo de desfecho de morbidade foram considerados os seguintes coeficientes de comorbidade apresentados nas tabelas abaixo, conforme a categoria de doença analisada e as respectivas faixas etárias da população atingida:

Tabela 3: Coeficientes de Morbidade

Faixa Etária	Respiratório	Cardiovascular	Neoplasia
0 a 4 anos	0,00395	Não se aplica	Não se aplica
40 a 59 anos	0,00205	0,00133	Não se aplica
Mais de 40 anos	Não se aplica	Não se aplica	0,00862
60 a 69 anos	0,00363	0,00198	Não se aplica
Mais de 69 anos	0,0105	0,00228	Não se aplica

Fonte: Saldiva *et al.* (2018).

Por sua vez, o coeficiente utilizado para mortalidade relacionada ao poluente corresponde ao valor de “2,718”, conforme indicado pela respectiva metodologia aplicada (Saldiva et al., 2018).

Com relação à concentração de MP2,5 utilizada, considerou-se o valor máximo identificado em medições de junho de 2021 pela iniciativa Pacto Ar Alegre (de 13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), tendo em vista a possibilidade de os valores atuais estarem subestimados em decorrência da pandemia, e não refletirem um cenário usual. O cenário ideal para a realização da análise aqui empreendida compreenderia um monitoramento das concentrações de MP2,5 na atmosfera de Porto Alegre de forma a constituir uma série histórica contínua, que considerasse necessariamente o cenário pré-pandêmico. Ademais, esta base de dados deveria ser composta por uma metodologia



constante, de modo a permitir a comparabilidade de seus resultados ao longo do tempo, reduzindo assim o grau de incerteza.

Cálculo da fração atribuível (ou fração de impacto) do efeito sobre a saúde decorrente da exposição ao material particulado fino (FA)

Para a respectiva equação, são utilizados os dados encontrados na etapa anterior, de risco relativo (RR).

Número de eventos de morbidade ou mortalidade da exposição ao poluente em estudo

O cálculo leva em consideração os resultados encontrados para a fração atribuível do efeito sobre a saúde decorrente da exposição ao MP2,5 (FA), assim como o número total dos desfechos em saúde no estudo, caso disponível. Em especial para este último elemento, foram considerados os dados do DATASUS registrados para o município, correspondentes aos anos de 2018 e 2019.

Para morbidade foram considerados os casos de internações registrados em referência aos seguintes Capítulos do Código Internacional de Doenças (CID-10) (OMS, 2007):

- II. Neoplasias;
- IX. Doenças do aparelho circulatório;
- X. Doenças do aparelho respiratório.

Para mortalidade foram considerados óbitos relativos aos Capítulos I a XVI do Código Internacional de Doenças (CID-10) (OMS, 2007):

- I. Algumas doenças infecciosas e parasitárias;
- II. Neoplasias;
- III. Doenças do sangue e dos órgãos hematopoéticos e alguns transtornos imunitários;
- IV. Doenças endócrinas, nutricionais e metabólicas;
- V. Transtornos mentais e comportamentais;
- VI. Doenças do sistema nervoso;
- VII. Doenças do olho e anexos;
- VIII. Doenças do ouvido e da apófise mastóide;
- IX. Doenças do aparelho circulatório;
- X. Doenças do aparelho respiratório;
- XI. Doenças do aparelho digestivo;
- XII. Doenças da pele e do tecido subcutâneo;
- XIII. Doenças do sistema osteomuscular e do tecido conjuntivo;
- XIV. Doenças do aparelho geniturinário;
- XV. Gravidez, parto e puerpério;
- XVI. Algumas afecções originadas no período perinatal.

Valoração econômica dos impactos na saúde

Para estimar a valoração econômica de morbidade foram considerados os valores médios de gastos associados à internação de cada uma das CID analisadas em Porto Alegre, para os anos de 2018 e 2019, de acordo com registros do DATASUS.

A valoração econômica de mortalidade prevê que o Valor Estatístico da Vida (VEV) é igual ao montante do Valor Presente da Produção Futura de um indivíduo. As perdas econômicas relacionadas à mortalidade foram estimadas a partir da produção sacrificada por óbitos precoces. Foi aplicado o método descrito em Zivin & Neidell (2013) e Narai & Sall (2016), que prevê a multiplicação da produtividade média mensal do trabalhador por doze, totalizando o equivalente ao período anual (Quadro 2).

Quadro 2: Modelo aplicado para valoração econômica de mortalidade

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

Onde:

PS: Produção Sacrificada

EV: Expectativa de Vida

FE: Faixa Etária

C: Casos Atribuídos

PT: Produtividade do Trabalho

Fonte: Zivin e Neidell (2013); Narai e Sall (2016).

5.1. Mortalidade associada ao MP2,5

Os resultados de desfechos de mortalidade atribuídos ao respectivo poluente indicam que, do total de óbitos registrados para o município, cerca de 1,7% deles decorrem da associação de Material Particulado fino. De tal maneira, **estima-se que em 2018 cerca de 175 casos de óbitos estejam associados à exposição prolongada de 13 µg/m³ de MP2,5, enquanto em 2019 somaram-se mais de 210 perdas de vida por tal problemática** (Tabela 4).



Tabela 4: Óbitos estimados em Porto Alegre referentes à exposição de 13 µg/m³ de MP_{2,5}

Ano	Óbitos totais	Óbitos associados
2018	10.113	175,31
2019	12.120	210,112

Fonte: Elaboração própria.

A memória de cálculo da estimativa de óbitos associados à exposição prolongada de 13µg/m³ de MP_{2,5}, em 2018 e 2019, para residentes de Porto Alegre encontra-se na Tabela 5.

Tabela 5: Estimativa de óbitos dos Cap. I à XVI da CID-10 associados à exposição de 13µg/m³ de MP_{2,5}

2018	2019
RR = exp [B (X- X₀)]	RR = exp [B (X- X₀)]
RR = 2,718 ^ [0,00583 (13 – 10)]	RR = 2,718 ^ [0,00583 (13 – 10)]
RR = 1,017642	RR = 1,017642
FA = (RR – 1) /RR	FA = (RR – 1) /RR
FA = (1,017642 – 1) /1,017642	FA = (1,017642 – 1) /1,017642
FA = 0,017336	FA= 0,017336
E = FA * B * P	E = FA * B * P
E = 0,017336 * 10.113	E =0,017336 * 12.120
E = 175,31	E = 210,11

Fonte: Elaboração própria.

Valoração para mortalidade

De acordo com o IBGE (2018), o salário médio mensal do cidadão porto-alegrense equivale a 4,1 salários-mínimos. Neste sentido, em 2018, quando o salário-mínimo equivalia R\$ 954,00, o rendimento médio anual da população totalizava R\$ 46.936,80. Em 2019, o salário-mínimo equivalia a R\$ 998,00, resultando em um rendimento médio anual de R\$ 49.101,60.



As tabelas 6, 7 e 8 a seguir sintetizam os resultados encontrados **para produção sacrificada das faixas etárias a partir de 15 anos, correspondente a R\$ 140.170.182,05 em 2018 e R\$ 170.463.569,64 em 2019, em valores correntes.**

Tabela 6: Produção sacrificada resultante de exposição de 13µg/m3 de MP2,5 na cidade de Porto Alegre para o ano de 2018, em valores correntes

Faixa Etária	Casos de mortalidade (total)	Casos de mortalidade (associados)	Expectativa de vida	Anos de vida perdidos	Valor estimado da produção sacrificada (R\$)
Menor de 1 ano	85	1,41	76	107,16	Não se aplica
1 a 4 anos	9	0,15	75	11,25	Não se aplica
5 a 9 anos	13	0,21	70	14,70	Não se aplica
10 a 14 anos	11	2,02	66	133,32	Não se aplica
15 a 19 anos	16	4,09	61	249,49	11.710.262,23
20 a 29 anos	84	1,40	54	75,60	3.548.422,08
30 a 39 anos	237	3,95	45	177,75	8.343.016,20
40 a 49 anos	418	6,98	35	244,30	11.466.660,24
50 a 59 anos	1.036	17,30	27	467,10	21.924.179,28
60 a 69 anos	1.881	31,41	19	596,79	28.011.412,87
70 a 79 anos	2.384	39,81	13	517,53	24.291.202,10
80 anos +	3.939	65,78	10	657,80	30.875.027,04
Idade ignorada	0	0	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Total	10.436	174,51	Não se aplica	3.252,79	140.170.182,05

Fonte: Elaboração própria.



Tabela 7: Produção sacrificada resultante de exposição de 13µg/m³ de MP_{2,5} na cidade de Porto Alegre, para 2019, em valores correntes

Faixa Etária	Casos de mortalidade (total)	Casos de mortalidade (associados)	Expectativa de vida	Anos de vida perdidos	Valor estimado da produção sacrificada (R\$)
Menor de 1 ano	98	2,02	77	155,54	Não se aplica
1 a 4 anos	17	0,35	75	26,25	Não se aplica
5 a 9 anos	11	0,22	71	15,62	Não se aplica
10 a 14 anos	11	0,22	66	14,52	Não se aplica
15 a 19 anos	12	0,24	61	14,64	718.847,42
20 a 29 anos	89	1,84	54	99,36	4.878.734,98
30 a 39 anos	214	4,42	45	198,9	9.766.308,24
40 a 49 anos	426	8,81	36	317,16	15.573.063,46
50 a 59 anos	980	20,28	27	547,56	26.886.072,10
60 a 69 anos	1.964	40,65	19	772,35	37.923.620,76
70 a 79 anos	2.462	50,96	13	662,48	32.528.827,97
80 anos +	4.151	85,92	10	859,2	42.188.094,72
Idade ignorada	1	0,02	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Total	10.436	215,95	Não se aplica	3.683,58	170.463.569,64

Fonte: Elaboração própria.

A seguir, sintetizam-se os valores de referência ao rendimento médio anual estimados para Porto Alegre, assim como os óbitos associados e o total de produção sacrificada encontrada em decorrência de MP fino, para 2018 e 2019 (Tabela 8).



Tabela 8: Valores de rendimento médio anual, óbitos associados e total de produção sacrificada para maiores de 15 anos em Porto Alegre, para os anos de 2018 e 2019 (R\$ correntes)

	2018	2019
Rendimento médio anual	R\$ 46.936	R\$ 49.101
Óbitos associados + 15 anos	170,72	213,12
Produção sacrificada + 15 anos	R\$ 140.170.182	R\$ 170.463.569

Ainda, aplicando o índice de deflação do período para trazer para valor presente, em valores equivalentes a 2022, **há um total de produção sacrificada de R\$168.612.159 para 2018, e de R\$196.636.352 para 2019.**

5.2. Morbidade associada ao MP2,5

Para os capítulos da CID-10 considerados, foram identificados mais de 28 mil casos de morbidade no município para 2018, enquanto para 2019 o valor encontrado foi superior a 37 mil casos (Tabelas 9 e 10).

Tabela 9: Casos de morbidade para os capítulos analisados, em 2018

Faixa etária	Cap. II	Cap. IX	Cap. X
0 a 4	-	-	3.746
40 a 59	-	3.699	1.520
Mais de 40	7.294	-	-
60 a 69	-	3.481	1.440
Mais de 69	-	4.443	2.684

Fonte: DATASUS (2021).



Tabela 10: Casos de morbidade para os capítulos analisados, em 2019

Faixa etária	Cap. II	Cap. IX	Cap. X
0 a 4	-	-	3.820
40 a 59	-	3.685	3.820
Mais de 40	7.885	-	-
60 a 69	-	3.694	1.554
Mais de 69	-	10.214	2.905

Fonte: DATASUS (2021).

A partir das respectivas estimativas, foram calculados os quantitativos de morbidade associados à exposição de 13 µg/m³ MP_{2,5} em Porto Alegre, para os anos de 2018 e 2019 (Tabela 11).

Tabela 11: Incidência de casos de morbidade associada à exposição de 13 µg/m³ MP_{2,5} em Porto Alegre, para os anos de 2018 e 2019

Faixa etária	2018			2019		
	Cap. II	Cap. IX	Cap. X	Cap. II	Cap. IX	Cap. X
0 a 4 anos	-	-	44,09	-	-	33,80
40 a 59 anos	-	14,42	9,27	-	11,01	7,22
Mais de 40 anos	185,99	-	-	201,27	-	-
60 a 69 anos	-	20,53	15,55	-	16,42	12,64
Mais de 69 anos	-	30,21	83,20	-	24,68	90,07

Fonte: Elaboração própria.



Desfechos de morbidade, ou seja, a quantidade de casos de internação estimados em decorrência de MP2,5, **totalizaram 403 casos em 2018**, enquanto o **valor encontrado para 2019 foi de 397 casos**.

A memória de cálculo pode ser observada nas Tabelas 12, 13 e 14, correspondente aos capítulos II, IX e X, respectivamente.

Tabela 12: Memória de cálculo morbidade Cap. II - Neoplasia

2018	2019
Mais de 40 anos	
RR = exp [B (X- X0)]	RR = exp [B (X- X0)]
RR = 2,718 ^ [0,00862 (13 - 10)]	RR = 2,718 ^ [0,00862 (13 - 10)]
RR = 1,0261	RR = 1,0261
FA = (RR - 1) /RR	FA = (RR - 1) /RR
FA = (1,0261- 1) /1,0261	FA = (1,0261- 1) /1,0261
FA= 0,0255	FA= 0,0255
E = FA * B * P	E = FA * B * P
E = 0,0255* 7.294	E = 0,0255* 7.885
E = 185,997	E = 201,27

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 13: Memória de cálculo morbidade Cap. IX - Doenças do aparelho circulatório

2018	2019
40 a 59 anos	
RR = exp [B (X- X0)]	RR = exp [B (X- X0)]
RR = 2,718 ^ [0,00133 (13 - 10)]	RR = 2,718 ^ [0,00133 (13 - 10)]
RR = 1,0039	RR = 1,0039
FA = (RR - 1) /RR	FA = (RR - 1) /RR



$FA = (1,0039 - 1) / 1,0039$ $FA = 0,0039$ $E = FA * B * P$ $E = 0,0039 * 3699$ $E = 14,42$	$FA = (1,0039 - 1) / 1,0039$ $FA = 0,0039$ $E = FA * B * P$ $E = 0,0039 * 3.685$ $E = 11,01$
60 a 69 anos	
$RR = \exp [B (X - X_0)]$ $RR = 2,718 ^ { [0,00198 (13 - 10)]}$ $RR = 1,0059$ $FA = (RR - 1) / RR$ $FA = (1,0059 - 1) / 1,0059$ $FA = 0,0059$ $E = FA * B * P$ $E = 0,0059 * 3.481$ $E = 20,53$	$RR = \exp [B (X - X_0)]$ $RR = 2,718 ^ { [0,00198 (13 - 10)]}$ $RR = 1,0059$ $FA = (RR - 1) / RR$ $FA = (1,0059 - 1) / 1,0059$ $FA = 0,0059$ $E = FA * B * P$ $E = 0,0059 * 3.694$ $E = 16,42$
Mais de 69 anos	
$RR = \exp [B (X - X_0)]$ $RR = 2,718 ^ { [0,00228 (13 - 10)]}$ $RR = 1,0068$ $FA = (RR - 1) / RR$ $FA = (1,0068 - 1) / 1,0068$ $FA = 0,0068$ $E = FA * B * P$ $E = 0,0068 * 4443$ $E = 30,21$	$RR = \exp [B (X - X_0)]$ $RR = 2,718 ^ { [0,00228 (13 - 10)]}$ $RR = 1,0068$ $FA = (RR - 1) / RR$ $FA = (1,0068 - 1) / 1,0068$ $FA = 0,0068$ $E = FA * B * P$ $E = 0,0068 * 10.214$ $E = 24,68$

Fonte: Elaboração própria.



Tabela 14: Memória de cálculo morbidade Cap. X - Doenças do aparelho respiratório

2018	2019
0 a 4 anos	
RR = exp [B (X- X0)] RR = $2,718 ^ { [0,00395 (13 - 10)]}$ RR = 1,01191 FA = (RR - 1) / RR FA = $(1,01191 - 1) / 1,01191$ FA= 0,01177 E = FA * B * P E = $0,01177 * 3746$ E = 44,09	RR = exp [B (X- X0)] RR = $2,718 ^ { [0,00395 (13 - 10)]}$ RR = 1,0119 FA = (RR - 1) / RR FA = $(1,0119 - 1) / 1,0119$ FA= 0,0117 E = FA * B * P E = $0,0117 * 3.820$ E = 33,80
40 a 59 anos	
RR = exp [B (X- X0)] RR = $2,718 ^ { [0,00205 (13 - 10)]}$ RR = 1,0061 FA = (RR - 1) / RR FA = $(1,0061 - 1) / 1,0061$ FA= 0,0061 E = FA * B * P E = $0,0061 * 1520$ E = 9,27	RR = exp [B (X- X0)] RR = $2,718 ^ { [0,00205 (13 - 10)]}$ RR = 1,0061 FA = (RR - 1) / RR FA = $(1,0061 - 1) / 1,0061$ FA= 0,0061 E = FA * B * P E = $0,0061 * 1.569$ E = 7,22
60 a 69 anos	
RR = exp [B (X- X0)] RR = $2,718 ^ { [0,00363 (13 - 10)]}$ RR = 1,0109 FA = (RR - 1) / RR FA = $(1,0109 - 1) / 1,0109$ FA= 0,0108	RR = exp [B (X- X0)] RR = $2,718 ^ { [0,00363 (13 - 10)]}$ RR = 1,0109 FA = (RR - 1) / RR FA = $(1,0109 - 1) / 1,0109$ FA= 0,0108



$E = FA * B * P$ $E = 0,0108 * 1.440$ $E = 15,55$	$E = FA * B * P$ $E = 0,0108 * 1554$ $E = 12,64$
Mais de 69 anos	
$RR = \exp [B (X - X_0)]$ $RR = 2,718 ^ { [0,0105 (13 - 10)]}$ $RR = 1,0319$ $FA = (RR - 1) / RR$ $FA = (1,0319 - 1) / 1,0319$ $FA = 0,0310$ $E = FA * B * P$ $E = 0,0310 * 2684$ $E = 83,20$	$RR = \exp [B (X - X_0)]$ $RR = 2,718 ^ { [0,0105 (13 - 10)]}$ $RR = 1,0319$ $FA = (RR - 1) / RR$ $FA = (1,0319 - 1) / 1,0319$ $FA = 0,0310$ $E = FA * B * P$ $E = 0,0310 * 2905$ $E = 90,07$

Fonte: Elaboração própria.

Valoração para morbidade

As perdas econômicas associadas à morbidade foram estimadas a partir do custo médio de hospitalização, por idade e por capítulo da CID-10, sintetizados nas tabelas 15 e 16.

Tabela 15: Média de gasto hospitalar (R\$) por idade, referente a comorbidades da CID-10 (Cap II, IX e X) de Porto Alegre para 2018

Faixa etária	Cap II	Cap. IX	Cap. X
0 a 4	-	-	702,52
40 a 59	-	3.128,99	2.224,95
Mais de 40	2.004,59	-	-
60 a 69	-	3.409,70	2.729,68



Mais de 69	-	2.957,22	1.561,24
-------------------	---	----------	----------

Fonte: DATASUS (2021).

Tabela 16: Média de gasto hospitalar (R\$) por idade, referente à comorbidades da CID-10 (Cap II, IX e X) de Porto Alegre, para 2019

Faixa etária	Cap II	Cap. IX	Cap. X
0 a 4	-	-	697,84
40 a 59	-	3.140,46	2.110,00
Mais de 40	2.014,08	-	-
60 a 69	-	3.734,77	2.383,67
Mais de 69	-	3.115,03	1.618,45

Fonte: DATASUS (2021).

Os gastos de morbidade identificados para 2018 somam R\$ 793.906 em valores correntes, enquanto o valor relativo a 2019 corresponde a R\$ 656.503,83, também em valores correntes (Tabelas 17 e 18). Trazendo os dois números para 2022, temos **R\$954.998 para 2018** e **R\$757.303 para 2019**. Destaca-se que os valores em questão se referem ao sistema público de saúde, não incluindo aqueles realizados em âmbito particular.

Tabela 17: Estimativa de gasto hospitalar (R\$) por caso associado da CID-10 (Cap II, IX e X) de Porto Alegre para 2018, em valores correntes

	Cap II	Cap IX	Cap X
0 a 4	-	-	23.745
40 a 59	-	45.120	20.625
Mais de 40	372.833	-	-
60 a 69	-	70.001	42.446
Mais de 69	-	89.156	129.978
Total	372.833	204.277	216.795

Fonte: DATASUS (2021).

Tabela 18: Estimativa de gasto hospitalar (R\$) por caso associado da CID-10 (Cap II, IX e X) de Porto Alegre para 2019, em valores correntes

	Cap II	Cap IX	Cap X
0 a 4	-	-	23.587
40 a 59	-	34.576	15.234
Mais de 40	305.009	-	-
60 a 69	-	61.324	30.129
Mais de 69	-	76.878	109.763
Total	305.009	172.780	178.714

Fonte: Elaboração própria.

Conclusão parcial

Considerando a concentração atmosférica de 13 µg/m³ de MP_{2,5} para Porto Alegre, bem como os casos de morbidade e mortalidade apresentados pelo DATASUS correspondentes aos CID-10 analisados, o município totalizou:

- Aproximadamente 400 casos de morbidade em cada um dos anos, somando mais de R\$ 790 mil e R\$ 650 mil em valor corrente de gastos públicos de saúde, em 2018 e 2019, respectivamente;
- Em 2018 cerca de 175 óbitos, enquanto em 2019 somaram-se mais de 210 perdas de vida, as quais estimadas economicamente em medida de produção sacrificada (de cidadãos acima de 15 anos) equivalem a mais de R\$140 milhões e R\$170 milhões em valores correntes, respectivamente.

Os resultados mostram que, a perda de vidas em decorrência da exposição prolongada ao poluente em questão acima do recomendado pela OMS, para além de questões sociais e afetivas



relacionadas àqueles próximos às vítimas, é a que mais impacta de forma negativa a economia municipal (Tabela 19).

Tabela 19: Síntese dos impactos econômicos (R\$), em valor corrente, decorrente da exposição prolongada de 13 µg/m³ de MP2,5 em Porto Alegre, em 2018 e 2019

	2018	2019	Total
Morbidade	R\$ 793.906	R\$ 656.503,83	R\$ 1.450.410
Mortalidade	R\$ 140.170.182	R\$ 170.463.569	R\$ 310.633.752
Total	R\$ 140.964.088	R\$ 171.120.073	R\$ 312.084.162

Fonte: Elaboração própria.

Em comparação à Lei Orçamentária Anual de 2018, que apresentou estimativa de despesas total equivalente a R\$7,2 bilhões, o somatório dos impactos econômicos de saúde, considerando morbidade e mortalidade, equivalem a 2% do montante anual aprovado em lei. Por sua vez, considerando a Lei Orçamentária Anual de 2019, equivalente a R\$7,5 bilhões, as perdas econômicas para o mesmo ano resultam em aproximadamente 2,2% do orçamento estimado para o ano.

Em comparação com a cidade do Rio de Janeiro, que registrou exposição prolongada de 17 µg/m³ de MP2,5 em 2017, o impacto econômico estimado para produção sacrificada, acima de 15 anos, decorrente de tais desfechos somaram mais de R\$ 540 milhões de reais (PABST, 2020). Ainda, os custos relacionados a internações hospitalares municipais estimados alcançaram mais de R\$13 milhões de reais (PABST, 2020). Ainda que resguardadas as devidas proporções populacionais entre as duas capitais, nota-se um expressivo aumento dos impactos econômicos

no Rio de Janeiro devido a uma concentração maior de exposição de MP_{2,5} àquela recomendada pela OMS.

5. CO₂ EQUIVALENTE DECORRENTE DOS ÔNIBUS DO TRANSPORTE PÚBLICO DE PORTO ALEGRE

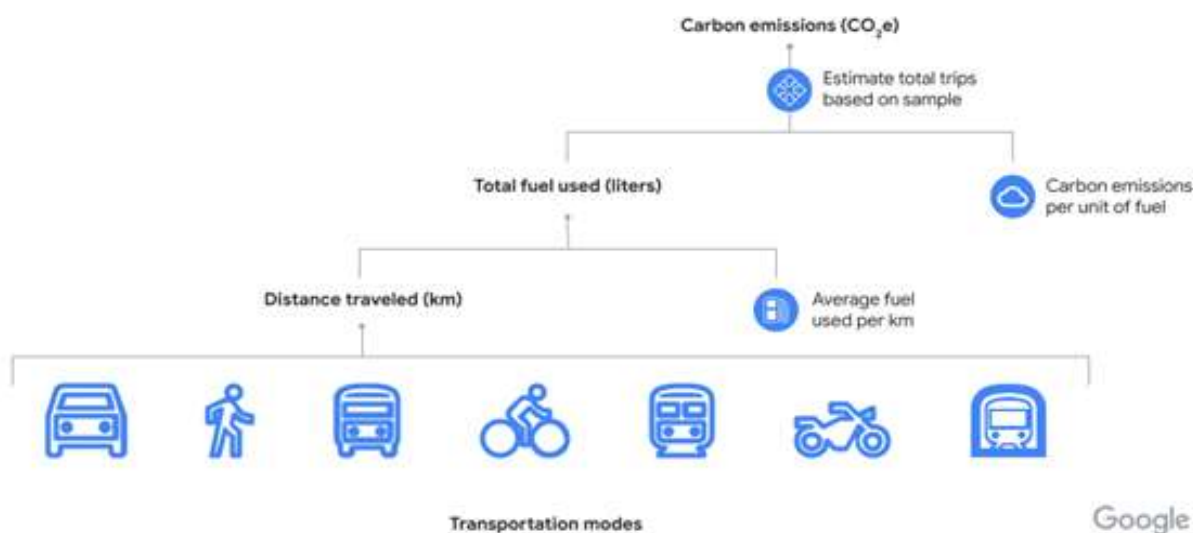
Tendo em vista que a eletrificação de ônibus do transporte público de Porto Alegre reduziria em grande medida as emissões de GEE do município, este capítulo buscou estimar os quantitativos a serem mitigados, através da ferramenta EIE Google, bem como considerada a metodologia do IPCC e resultados do 2º Inventário de Emissões de GEE do município. Além disso, a fim de identificar potenciais retornos financeiros decorrentes de tal eletrificação, em um cenário de regulação do mercado de carbono no Brasil, quantificou-se tais estimativas a partir de valores praticados em mercados voluntários internacionais.

Inicialmente, para estimar as emissões de GEE dos ônibus de transporte público do município, utilizou-se as fontes de dados e recursos de modelagem exclusivos da plataforma Environmental Insights Explorer (EIE), que utiliza estimativas de modelagem, tendo como base medições reais de atividade e infraestrutura (as mesmas informações disponibilizadas no Google Maps). Assim, a ferramenta faz uso de técnicas avançadas de aprendizado de máquina, considerando fatores de escala, eficiência e fatores de emissão, para entender como as pessoas se locomovem e realizar estimativas de GEE.

Especialmente para os modais de transporte, a plataforma permite sua desagregação nas categorias: automóvel, moto, ônibus, bicicleta e pedestres. As emissões anuais são calculadas com

base na extrapolação da distância total percorrida em todas as viagens realizadas, os tipos de veículos e o consumo médio de combustível de cada modo (Figura 5). Além disso, o consumo médio de combustível é estimado regionalmente através da ferramenta Ação Climática para a Sustentabilidade Urbana (CURB).

Figura 5: Representação da aplicação da metodologia EIE Google



Fonte: EIE, 2021.

A estimativa do Google é um total de todas as viagens feitas dentro dos limites de uma cidade (in-boundary) e viagens que cruzam os limites da cidade (inbound e outbound). Tendo em vista o recorte de interesse, ou seja, os deslocamentos de ônibus do transporte público municipal de Porto Alegre, considerou-se neste projeto aquelas estimativas categorizadas como "in-boundary", sendo elas apresentadas a seguir (Tabela 20):



Tabela 20: Emissões de CO₂e estimadas para ônibus no município de Porto Alegre, em 2018 e 2019

	EIE In-Boundary
2018	566.590
2019	566.727

Fonte: EIE Google (2021).

A fim de confrontar os respectivos dados, realizou-se, ainda, a identificação das emissões de CO₂ originadas pelo setor de transportes, especialmente para os ônibus do transporte público de Porto Alegre, através de metodologia do Painel Intergovernamental para a Mudança do Clima (IPCC, 2006), a partir das abordagens “bottom-up” e “Tier 1”.

A metodologia do IPCC é formada por duas etapas: conversão de consumo de combustível para energia e cálculo da emissão de CO₂ propriamente dito.

Quadro 3: Metodologia do IPCC para estimativa de emissão de GEE do setor de transporte terrestre

I) Conversão de consumo de combustível (Cons) de m³ para energia (TJ)

$$Cons = ConsV * dens * 0,041868$$

Onde:

Cons: consumo de combustível em energia (TJ)

ConsV: consumo de combustível em volume (m³)

Dens: densidade energética do combustível (tep/m³)

0,041868: fator de conversão de tep para TJ (TJ/tep)

II) Cálculo de emissão de CO₂

$$Eg = Cons * FE$$

Onde:

E: emissão de Gás do Efeito Estufa (kgGEE)

g: Gás do Efeito Estufa

Cons: consumo de combustível (TJ)

FE: fator de emissão(kgGGE/TJ)

Fonte: IPCC (2006).

A identificação do consumo de combustível em m³ para Porto Alegre se deu a partir de dados de venda da Agência Nacional do Petróleo (ANP). Dos resultados disponibilizados pela Agência, aplicou-se para o combustível do tipo “Óleo Diesel” o correspondente a 85% do total vendido, conforme Nota Técnica nº 02 do COBEN (1988) para o cruzamento das categorias “Transporte Rodoviário” e “Postos de Vendas”.

Ainda, a partir do coeficiente de consumo médio de litro por quilômetro rodado em ônibus de transporte público (0,5309) (ANTP, 2017), e da quantidade de quilômetros rodados por tal meio de transporte para 2018 e 2019 (POA, 2021), estipulou-se quanto do diesel vendido na cidade refere-se ao modal em questão (Tabela 21).

Tabela 21: Volume de combustível vendido em Porto Alegre em 2018 e 2019

Combustível	Volume (m ³) (2018)	Volume (m ³) (2019)
Gasolina C	440.585	448.992
Etanol hidratado	13.858	11.757
Diesel total	125.960	120.235
Diesel para ônibus de transporte público	57.749	55.125

Fonte: Adaptado de ANP (2018a; 2018b; 2018c; 2019a; 2019b; 2019c).



Para a respectiva conversão, foram utilizadas as densidades energéticas apresentadas pelo Balanço Energético Nacional de 2020 (EPE, 2020), conforme demonstra a tabela 22.

Tabela 22: Densidade energética dos combustíveis analisados

Combustível	Densidade Energética (tep/m³)
Gasolina C	0,770
Etanol hidratado	0,510
Óleo diesel	0,848

Fonte: EPE (2020).

Aplicando-se a fórmula acima indicada, foram encontrados os seguintes valores referentes ao consumo de combustível em TJ (Tabela 23).

Tabela 23: Resultados da conversão de consumo de combustível de m³ para energia (TJ)

Ano	Gasolina C	Etanol	Diesel	Diesel ônibus de transporte público
2018	14.204	296	4.472	2.050
2019	14.475	251	4.269	1.957

Fonte: Elaboração própria.

Para a aplicação da segunda parte do modelo, referente ao cálculo das emissões setoriais de CO₂, faz-se necessário a identificação do Fator de Emissão (FE) dos combustíveis em kg/TJ (Tabela 24). Considerando que os valores encontrados apresentam padronização internacional e

desconsideram a mistura de diferentes compostos nos combustíveis brasileiros, foi realizado um balanceamento proporcional para o “FE Brasil”. Neste sentido, foi considerado para a gasolina 20% de seu volume como etanol hidratado, enquanto para etanol hidratado calcula-se a mesma estimativa (20%) de sua composição por gasolina.

Tabela 24: Fatores de Emissão utilizados para cálculo de emissão de CO₂

Combustível	Fe internacional (kg/TJ)	Fe Brasil(kg/TJ)
Gasolina C	69.300*	69.226
Etanol Hidratado	68.930**	69.004
Óleo Diesel	74.100*	-

Fonte: Adaptados de IPCC (2016) * e BRASIL (2010) *apud* EKOS GEOKLOK (2012)**

Os resultados para os todos os combustíveis analisados, inclusive para diesel de ônibus de transporte público, encontram-se sintetizados na Tabela 25.

Tabela 25: Emissão de tCO₂e dos ônibus urbanos de Porto Alegre seguindo a metodologia do IPCC, por tipo de combustível, em 2018 e 2019

Combustível	2018	2019
Gasolina C	983.268	1.002.030
Etanol Hidratado	20.419	17.323
Diesel ônibus de transporte público	151.930	145.025
Diesel Outros	179.451	171.296
Total	1.335.068	1.335.674

Fonte: Elaboração própria.

Comparação das emissões identificadas

Nota-se uma proximidade entre os valores estimados através da metodologia do IPCC com o 2º Inventário de GEE de Porto Alegre, disponibilizado após o início do presente estudo (Tabela 26).

Tabela 26: Emissões dos ônibus de transporte público em Porto Alegre a partir as metodologias EIE Google, IPCC e 2º Inventário de GEE de Porto Alegre, em t/CO₂ eq

	EIE In-Boundary	Baseado em IPCC (2006)	2º Inventário de POA – baseado na metodologia GPC
2018	566.590	151.930	130.146
2019	566.727	145.025	124.384

Fonte: EIE (2018; 2019); POA (2021).

Contudo, destaca-se a divergência expressiva nos resultados encontrados com a plataforma EIE. A discrepância em questão se mostra para todas as categorias de modais de transporte, com especial distanciamento para ônibus. A diferença metodológica é o fator determinante para a diferença, dado que os resultados da plataforma EIE Google baseiam-se em estimativas modeladas com base em medições de movimentações de históricos de localização, método menos preciso do que o utilizado pelo IPCC para a produção de inventários de emissão.

Além disso, a ferramenta *"Climate Action for Urban Sustainability"* (CURB), utilizada para contabilização das emissões de CO₂eq sobre o setor de transportes pelo EIE Google, considera somente os combustíveis gasolina e óleo diesel em sua análise. Tendo em vista a utilização em larga escala de etanol hidratado no Brasil e o fato deste combustível não ser considerado pela

metodologia em questão, a quantificação de emissões de modais referentes a tais combustíveis apresentam, também, tal explicação para as divergências identificadas.

Valoração de CO₂e identificado

Existem diversas formas de se valorar as emissões de carbono. Um caminho possível é utilizar os valores praticados em mercados de carbono já consolidados para estimar a disposição a pagar pela redução dessas emissões. Esses preços variam consideravelmente, indo de um mínimo abaixo de US\$1 por tCO₂eq (imposto sobre carbono da Polônia, Ucrânia e limite mínimo no México) até US\$119 tCO₂eq na Suécia (THE WORLD BANK, 2020).

Para dimensionar o valor das externalidades geradas pelas emissões de carbono do setor de transporte rodoviário por ônibus em Porto Alegre, foram utilizados os valores de US\$10/tCO₂eq, US\$20/tCO₂eq e US\$50/tCO₂eq. Tais valores, além de estarem dentro do intervalo identificado por *The World Bank* (2020), são compatíveis com valores de referência para o *European Trading System* (ETS).

Considerando os resultados encontrados através da metodologia do IPCC (2006) e do EIE Google, bem como dos valores de referência indicados anteriormente, foi possível a realização da valoração de emissões de CO₂ associáveis aos ônibus de transporte público em POA (Tabela 27).

Tabela 27: Valoração das emissões de carbono derivadas dos ônibus urbanos em Porto Alegre (em US\$)

		Baseado em IPCC		EIE In-Boundary		2º Inventário de POA – baseado na metodologia GPC	
tCO ₂ eq		2018	2019	2018	2019	2018	2019



US\$10/t	1.519.300	1.519.300	5.665.900	5.667.270	1.301.460	1.243.840
US\$20/t	3.038.600	2.900.500	11.331.800	11.334.540	2.602.920	2.487.680
US\$50/t	7.596.500	7.596.500	28.329.500	28.336.350	6.507.300	6.219.200

Fonte: Elaboração própria.

A partir da valoração média anual do dólar para 2018 (R\$ 3,6542) e 2019 (R\$ 3,9451), segundo IPEA (2021), estimou-se tais valores em reais correntes, conforme sintetiza a Tabela 28:

Tabela 28: Valoração das emissões de carbono associáveis ao transporte rodoviário em Porto Alegre (em R\$)

tCO ₂ eq	Baseado em IPCC		EIE In-Boundary		2º Inventário de POA – baseado na metodologia GPC	
	2018	2019	2018	2019	2018	2019
R\$10/t	5.551.826	5.993.790	20.704.331	22.357.946	4.755.795	4.907.073
R\$20/t	11.103.652	11.442.762	41.408.663	44.715.893	9.511.590	9.814.146
R\$50/t	27.759.130	29.968.952	103.521.658	111.789.734	23.778.975	24.535.365

Fonte: Elaboração própria.

Conclusão parcial

Durante a 26ª Conferência das Partes sobre Mudanças Climáticas (COP26), realizada em Glasgow em 2021, definições sobre o Acordo de Paris, em especial quanto aos mecanismos que tratam do mercado de carbono global, foram tomadas. Em contexto brasileiro, movimentações para regulação de um mercado de carbono estão em curso, também. De forma geral, através de



tais mercados de carbono, excedentes de mitigação de gases de efeito estufa poderão ser comercializados, seguindo medidas estabelecidas para cada setor.

Neste contexto, em um cenário de implementação de tais mercados, as emissões evitadas através da eletrificação da frota de ônibus do transporte público de Porto Alegre poderão ser comercializadas. As estimativas realizadas apontam que, a depender da metodologia utilizada para a respectiva quantificação, os valores potenciais a serem arrecadados sofrem uma variação. Além disso, o montante em questão pode alternar em conformidade com o valor da tonelada de CO2 equivalente a ser adotada.

A partir da total eletrificação da frota de ônibus do transporte público do município, estimou-se que a mitigação dos GEE resultantes da queima de combustível diesel do ano de 2018 alcançariam valores entre U\$ 4,7 milhões a mais de U\$ 100 milhões, enquanto para 2019 os valores variam entre U\$ 4,9 milhões a mais de U\$ 110 milhões. Uma vez obtido o recurso em questão, este poderá ser utilizado, inclusive, para abater financiamentos para a eletrificação em questão.

6. SIMULAÇÃO FINANCEIRA PARA ELETRIFICAÇÃO DA FROTA E COMPARAÇÃO DOS DIFERENTES CENÁRIOS

Para o alcance da eletrificação da frota de ônibus do transporte público de Porto Alegre, torna-se necessária a análise do financiamento a ser despendido, tendo em vista os altos custos

de tal operação. Para tanto, este capítulo teve como objetivo analisar três diferentes cenários de financiamento, sendo eles:

- **Cenário 1** - Alcançar 100% da frota eletrificada a partir de 2023;
- **Cenário 2** - Alcançar 100% da frota eletrificada a partir de 2037, quando da caducidade do atual contrato de concessão dos ônibus públicos de Porto Alegre;
- **Cenário 3** - 100% da frota eletrificada em 2050, objetivo geral para a neutralização das emissões de dióxido de carbono constante no Acordo de Paris.

As simulações em questão foram fundamentadas a partir da “Ferramenta de Avaliação Técnico-Econômica para Ônibus Elétricos Urbanos Municipais”, desenvolvida pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2020), dado que foi desenvolvida especificamente para dotar o gestor público municipal de informações que permitam a transição gradual e previsível da frota de ônibus urbanos para o modelo de eletrificação.

Já tendo sido aplicado para simulações no município do Rio de Janeiro com participação do Grupo C40 e Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento (ITDP), o modelo se mostrou eficiente ao disponibilizar dados que subsidiassem políticas públicas para a conversão pretendida (ZEBRA, 2021). Ademais, o modelo é composto por quatro “grupos de variáveis” (Tabela 29) que exploram de modo particular o contexto no qual a transição pretendida será realizada, permitindo ao pesquisador inserir dados específicos sobre o município estudado.



Tabela 29: Descrição dos grupos de variáveis consideradas na análise

Custos fixos	Custos variáveis	Distância	Rendimento
Aquisição de veículos Aquisição de carregadores	Óleo diesel Energia elétrica Manutenção	Distância média viajada	Rendimento dos veículos

Fonte: EPE (2020).

Consideram-se **“custos fixos”** aqueles relativos à aquisição de veículos e peças indispensáveis ao processo de transição para a frota elétrica, como baterias e carregadores elétricos. Quanto aos **“custos variáveis”**, estes envolvem principalmente o abastecimento dos veículos (eletricidade ou diesel), bem como seu custo de manutenção ao longo da vida útil. Também, a **“distância média”** percorrida pela frota de ônibus urbanos é um fator fundamental para a modelagem aqui desenvolvida. Finalmente, a variável **“rendimento”** compara a capacidade de deslocamento dos atuais ônibus utilizados por unidade, sendo estes o litro por quilômetro para os ônibus movidos a diesel (L/km) e a energia necessária para percorrer a mesma distância nos ônibus elétricos (kWh/km).

A fim de melhor compreensão, cabe esclarecer brevemente, também, alguns termos de grande relevância ao capítulo: CAPEX e OPEX. O primeiro em questão (**CAPEX**) se refere aos custos de aquisição de novos veículos; sendo eles elétricos, será demandada, também, devida infraestrutura de recarga. A definição da estratégia de recarga e a seleção do veículo são fatores que influenciam diretamente na definição da infraestrutura. Cada estratégia de recarga tem requisitos, adaptações e restrições distintas. Assim, planejar e implementar de maneira adequada

essa etapa do projeto pode aumentar a eficiência do sistema, mitigar riscos e custos e otimizar a infraestrutura necessária.

Independentemente do tamanho da frota a ser introduzida, é interessante realizar análises prévias. Se a infraestrutura for bem planejada, mesmo para um projeto de pequena escala, as instalações podem ser utilizadas posteriormente e facilitar a incorporação de mais veículos à frota. Uma vez que a adoção de frotas elétricas requer uma série de investimentos em infraestrutura, é necessário criar um plano que mapeie detalhadamente ajustes e novas infraestruturas necessários à operação, utilizando como subsídio os dados avaliados no diagnóstico e no estudo de pré-viabilidade, além de definições adicionais.

O sistema ou tecnologia de recarga caracteriza-se pela forma como a eletricidade é transmitida da rede elétrica para o sistema de armazenamento do veículo. Os sistemas de recarga propostos para as respectivas modelagens são de recarga condutiva; maiores detalhes são descritos a seguir (Quadro 4).

Quadro 4: Infraestruturas de recarga para ônibus elétrico

O modelo de **recarga condutiva** diz respeito ao carregamento realizado por meio de uma conexão física entre a rede elétrica e o veículo. Neste contexto, adotou-se o método denominado “plug-in” para as análises realizadas.

Recarga Plug-In: Sistema de recarga condutivo que oferece ampla variedade de tipos de conectores, de velocidades de recarga e de





fabricantes/fornecedores. É uma das opções mais populares e mais viáveis economicamente. Embora seja, em geral, de carregamento mais lento do que outras opções (o que limita o período em que o ônibus está disponível para operação, reparo e manutenção), a recarga plug-in pode reduzir os gastos com eletricidade, uma vez que os veículos são carregados durante a noite, quando a energia costuma ser mais barata. Por causa desse carregamento noturno, o conjunto de baterias tende a ser maior, para assegurar mais autonomia ao veículo. No entanto, baterias maiores também tornam os ônibus mais pesados, podendo reduzir a quantidade de espaço disponível para os passageiros, gerar um consumo de energia mais elevado por quilômetro rodado e comprometer o pavimento das vias.

Fonte: MDR (2022)

Além disso, deve-se planejar as devidas estratégias de recarga, adequadas ao contexto local e ao tamanho da frota de ônibus. Destaca-se a seguir aquela planejada no contexto das simulações financeiras realizadas, de recarga na garagem (MDR, 2022). Nesta modalidade, os ônibus elétricos são alimentados durante um período específico em garagens/instalações. Como isso costuma acontecer à noite, também é chamada de recarga noturna. Como os veículos podem ser carregados durante o período da noite e, conseqüentemente, por um intervalo mais longo, a potência necessária para os carregadores pode ser menor, e o impacto na rede elétrica, também.



CENTRO
BRASIL
NO CLIMA



Fonte: MDR (2022).

Cada infraestrutura, segundo EPE 2020, custa USD 50 mil, ou seja, R\$275 mil se utilizar o câmbio de fevereiro de 2022 (R\$5,5). Considerando que a recarga pode levar até 3 horas, cada carregador pode fazer 6 recargas por dia, considerando um período de 18h horas diárias de atividade do sistema. Como o ônibus elétrico possui autonomia de 6 horas, demandando 2 recargas por dia, cada carregador atende à demanda de 2 ônibus, considerando uma margem de segurança intercalando as recargas. Logo, na projeção de custos, deve-se incluir a metade do custo de um carregador por ônibus adquirido, ou R\$133 mil em valores de 2021. Considerando que o horário da operação dura 18h diárias, e cada ônibus elétrico fica um terço desse tempo em recarga, é necessário ter uma frota elétrica 50% maior para substituir toda a frota a diesel (EPE, 2020).

Por sua vez, o segundo termo a ser esclarecido (**OPEX**), refere-se aos custos de operação e de manutenção, sendo ambos avaliados em reais por quilometragem rodada. Tais custos são



determinados a partir do rendimento dos ônibus, do preço da energia e do combustível adotado, tendo como base para contabilização a distância anual percorrida pelos veículos. De tal forma, os custos em questão podem apresentar variação significativa entre regiões e municípios, tendo em vista as diferenças de tarifas de petróleo e energia praticadas. Também, tal questão tem forte influência na provisão do quanto cada linha de ônibus percorre dentro do recorte territorial analisado.

Abaixo apresenta-se a descrição dos inputs utilizados para simulação financeira referente à eletrificação dos ônibus do município de Porto Alegre (Tabela 30).

Tabela 30: Dados utilizados para a simulação financeira de viabilidade da eletrificação da frota de ônibus urbanos da cidade de Porto Alegre

Dado	Medida utilizada	Referência do dado	Descrição
Dados de utilização			
Distância média anual	69.000	EPTC	Quilometragem média percorrida por ano
Dias de operação	365	-	Dias no ano em funcionamento
Distância diária média	189	EPTC	Quilometragem média percorrida por dia
Quantidade de ônibus elétrico	01	-	Quantidade de ônibus eletrificado a ser estimada
Preço do Diesel			
Preço do diesel	5,26	ANP	Preço em reais por litro de diesel
Preço da energia elétrica			
Potência do carregador	6	EPE	Quilowatts



Duração da recarga	6	EPE	Horas de duração de uma recarga
Tarifa elétrica	0,53	Concessionária local	Preço em reais por quilowatts/hora
Custos de aquisição de novos veículos e infraestrutura de recarga (CAPEX)			
Custo de aquisição ônibus à diesel	543.000	EPE	Preço médio, em reais, por unidade adquirida
Custo de aquisição ônibus elétrico	950.250	EPE	Preço médio, em reais, por unidade adquirida
Infraestrutura de recarga elétrica	137.500	EPE	Preço médio, em reais, por infraestrutura de recarga necessária

Dado	Medida utilizada	Referência do dado	Descrição
Custos de operação e de manutenção (OPEX)			
Custo operacional ônibus à diesel	3,33	EPE	Preço médio, em reais, por quilômetro percorrido
Custo operacional ônibus elétrico	0,42	EPE	Preço médio, em reais, por quilômetro percorrido
Rendimento ônibus à diesel	1,58	EPE	Quilômetro percorrido por litro de diesel
Rendimento ônibus elétrico	1,25	EPE	Quilômetro percorrido por quilowatt
Custo do diesel	5,26	EPE	Preço médio, em reais, por litro
Custo da energia elétrica	0,53	EPE	Preço médio, em reais, por quilowatt



Custo de manutenção ônibus à diesel	0,64	EPE	Preço médio, em reais, quilômetro percorrido
Custo de manutenção ônibus elétrico	0,63	EPE	Preço médio, em reais, quilômetro percorrido
Custo de variação ônibus à diesel	273.868	EPE	Preço médio, em reais, por ano
Custo de variação ônibus elétrico	72.726	EPE	Preço médio, em reais, por ano

Fonte: Elaboração própria, com base em EPE (2020).

Se assume que, para fins de simulação financeira da conversão elétrica da frota, os indicadores operacionais dos ônibus públicos de Porto Alegre apresentarão taxas de desempenho relativas ao período pré-pandemia. Utilizam-se na presente análise, portanto, dados operacionais relativos ao consolidado do exercício de 2019, conforme apresentado pela Empresa Pública de Transporte e Circulação do município (EPTC, 2020). Além disso, com exceção do custo do diesel e da eletricidade, correspondentes ao mesmo período em questão, os demais números apresentados foram baseados em referências de 2020.

Por fim, cabe destacar que os ônibus de transporte público de Porto Alegre operam em ciclos de 14 anos, de forma que vencido tal período de vida do veículo, a respectiva frota com tal idade é revendida e o valor é utilizado para sua renovação. Tendo em vista que os ônibus atualmente em circulação serão revendidos, especialmente para os cenários de eletrificação em 2037 (Cenário 2) e 2050 (Cenário 3), reduziu-se o valor de revenda dos ônibus no CAPEX, considerando sua depreciação de 8% ao ano (MDIC, 2018). Além disso, foram considerados os

custos anuais da poluição dos ônibus movidos a diesel sobre a saúde da população porto-alegrense, valorados em capítulos anteriores deste documento.

Mantendo a frota de ônibus a diesel do município até 2050, ano de referência mais longínquo de transição elétrica adotado nos cenários de eletrificação propostos, anualmente tem-se os seguintes valores de CAPEX, OPEX, depreciação dos veículos e custos de externalidade relacionados à saúde em Porto Alegre, em valores correntes (utilizando-se taxa de inflação de 10,02%) para o período em questão (Tabela 31).

Tabela 31: Custo da atual frota de ônibus urbanos de Porto Alegre, movidos a diesel, até o ano de 2050, considerando CAPEX, OPEX, depreciação, revenda e externalidades causadas à saúde da população (R\$ de 2022)

Ano	Custos de aquisição de novos veículos e infraestrutura (CAPEX)	Custos de operação e de manutenção (OPEX)	Valor ao fim do ano, considerando depreciação	Externalidades Saúde
Descrição	R\$543.000* Inflação (1,1006) - novo R\$186.000 - revenda		8% ao ano	Anual
2023	R\$ 411.626	R\$ 301.420	R\$ 549.816	R\$ 197.393.654
2024		R\$ 301.420	R\$ 505.830	R\$ 197.393.654
2025		R\$ 301.420	R\$ 465.364	R\$ 197.393.654
2026		R\$ 301.420	R\$ 428.135	R\$ 197.393.654
2027		R\$ 361.476	R\$ 393.884	R\$ 197.393.654
2028		R\$ 301.420	R\$ 362.373	R\$ 197.393.654
2029		R\$ 301.420	R\$ 333.384	R\$ 197.393.654
2030		R\$ 301.420	R\$ 306.713	R\$ 197.393.654
2031		R\$ 301.420	R\$ 282.176	R\$ 197.393.654
2032		R\$ 361.476	R\$ 259.602	R\$ 197.393.654

2033		R\$ 301.420	R\$ 238.834	R\$ 197.393.654
2034		R\$ 301.420	R\$ 219.727	R\$ 197.393.654
2035		R\$ 301.420	R\$ 202.149	R\$ 197.393.654
2036		R\$ 301.420	R\$ 185.977	R\$ 197.393.654
2037	R\$ 411.626	R\$ 301.420	R\$ 549.816	R\$ 197.393.654
2038		R\$ 301.420	R\$ 505.830	R\$ 197.393.654
2039		R\$ 301.420	R\$ 465.364	R\$ 197.393.654
2040		R\$ 301.420	R\$ 428.135	R\$ 197.393.654
2041		R\$ 361.476	R\$ 393.884	R\$ 197.393.654
2042		R\$ 301.420	R\$ 362.373	R\$ 197.393.654
2043		R\$ 301.420	R\$ 333.384	R\$ 197.393.654
2044		R\$ 301.420	R\$ 306.713	R\$ 197.393.654
2045		R\$ 301.420	R\$ 282.176	R\$ 197.393.654
2046		R\$ 361.476	R\$ 259.602	R\$ 197.393.654
2047		R\$ 301.420	R\$ 238.834	R\$ 197.393.654
2048		R\$ 301.420	R\$ 219.727	R\$ 197.393.654
2049		R\$ 301.420	R\$ 202.149	R\$ 197.393.654
2050		R\$ 301.420	R\$ 185.977	R\$ 197.393.654

Fonte: Elaboração própria.

Tendo em vista os dados de OPEX indicados anteriormente, para cada unidade de ônibus diesel, em um ciclo (14 anos) da frota, ou seja, até 2036, tal modal demandará uma despesa de mais de R\$4,3 milhões. Considerados juntos aos gastos de CAPEX, estima-se para o período que os custos alcancem mais de R\$4,7 milhões. Por sua vez, para o ano de 2050, considerando a necessidade de dois ciclos de renovação da frota de ônibus, o valor unitário equivalerá a cerca de

R\$9,5 milhões. Considerando quantidade de veículos que compõem a atual frota de ônibus do transporte público do município (1609 unidades), tem-se os seguintes resultados (Tabela 32):

Tabela 32: Síntese dos custos para manter a frota total de ônibus à diesel de Porto Alegre em cenários de 2036 e 2050

Ciclos de renovação da frota de ônibus	Variáveis consideradas	Valor da frota total
1 ciclo	CAPEX + OPEX	R\$ 7.645.357.384
14 anos (2036)	CAPEX + OPEX + Custos de externalidades de saúde	R\$ 10.408.868.546
2 ciclos	CAPEX + OPEX	R\$ 15.290.714.768
28 anos (2050)	CAPEX + OPEX + Custos de externalidades de saúde	R\$ 20.817.737.093

Fonte: Elaboração própria.

Vale destacar que os custos desse cenário estão subestimados, visto que o período recomendado para utilização de ônibus movidos a diesel é de 10 anos, segundo o próprio manual e calculadora da EPE, utilizada como base para simulações do tipo (EPE, 2020). É possível o ônibus seguir operando após esse prazo, porém sua manutenção se torna exponencialmente mais custosa a cada ano. Também de forma crescente se aumenta os custos com combustível, visto que o motor passa a consumir mais por quilômetro percorrido, emite mais gases poluentes, aumenta o risco de acidentes e, por enguiçar com mais frequência, prejudica a economia da cidade ao causar engarrafamentos. Há que se considerar ainda que a maior parte das seguradoras não oferece seguro para motores a diesel que operem além dos 10 anos recomendados, seja para o chassi, seja para cobrir os custos hospitalares no caso de acidentes.

Cenários de eletrificação



Tendo em vista os resultados encontrados, apresentam-se a seguir os cenários de financiamento para eletrificação da frota de ônibus do transporte público municipal de Porto Alegre, a serem alcançados 100% em 2023 (Cenário 1), 2037 (Cenário 2) e 2050 (Cenário 3). De forma antecipada é importante destacar que, conforme apresentado acima, considerando que o horário da operação dos veículos dura 18h diárias, e cada ônibus elétrico fica um terço desse tempo em recarga, é necessário ter uma frota elétrica 50% maior para substituir toda a frota a diesel. Como hoje a frota de ônibus municipais movidos a diesel de Porto Alegre conta com 1609 ônibus, seriam necessários, portanto, 2413 ônibus elétricos.

Tendo em vista os valores de CAPEX e OPEX apresentados anteriormente para eletrificação da frota de ônibus do município, bem como considerando a depreciação dos respectivos veículos, são encontrados os seguintes valores de custos até o ano de 2050, ano do cenário de transição mais longe projetado (Tabela 33):

Tabela 33: Custo de possível eletrificação da frota de ônibus urbanos de Porto Alegre, considerando CAPEX, OPEX, depreciação e revenda (R\$ de 2022)

Ano	Custos de aquisição de novos veículos e infraestrutura (CAPEX)	Custos de operação e de manutenção (OPEX)	Valor ao fim do ano, considerando depreciação
Descrição	R\$950.250 (Veículo) + R\$137.500 (Recarga) – R\$169.000 (revenda Diesel) * Inflação (1,1006)	Custo da energia elétrica * Rendimento + Manutenção do ônibus e da estrutura de recarga * Inflação	8% ao ano
2023	R\$ 1.011.176,25	R\$ 80.042,24	R\$ 962.177,54
2024		R\$ 80.042,24	R\$ 885.203,33
2025		R\$ 80.042,24	R\$ 814.387,07
2026		R\$ 80.042,24	R\$ 749.236,10



2027		R\$ 80.042,24	R\$ 689.297,21
2028		R\$ 80.042,24	R\$ 634.153,44
2029		R\$ 80.042,24	R\$ 583.421,16
2030		R\$ 80.042,24	R\$ 536.747,47
2031		R\$ 80.042,24	R\$ 493.807,67
2032		R\$ 498.380,30	R\$ 454.303,06
2033		R\$ 80.042,24	R\$ 417.958,81
2034		R\$ 80.042,24	R\$ 384.522,11
2035		R\$ 80.042,24	R\$ 353.760,34
2036		R\$ 80.042,24	R\$ 325.459,51
2037	R\$ 720.385,64	R\$ 80.042,24	R\$ 962.177,54
2038		R\$ 80.042,24	R\$ 885.203,33
2039		R\$ 80.042,24	R\$ 814.387,07
2040		R\$ 80.042,24	R\$ 749.236,10
2041		R\$ 80.042,24	R\$ 689.297,21
2042		R\$ 80.042,24	R\$ 634.153,44
2043		R\$ 80.042,24	R\$ 583.421,16
2044		R\$ 80.042,24	R\$ 536.747,47
2045		R\$ 80.042,24	R\$ 493.807,67
2046		R\$ 498.380,30	R\$ 454.303,06
2047		R\$ 80.042,24	R\$ 417.958,81
2048		R\$ 80.042,24	R\$ 384.522,11
2049		R\$ 80.042,24	R\$ 353.760,34
2050		R\$ 80.042,24	R\$ 325.459,51

Fonte: Elaboração própria.

Os resultados indicam que o OPEX total para cada unidade de veículo elétrico adquirido, para o período de um ciclo (14 anos) é equivalente a aproximadamente R\$1,5 milhões. Considerando conjuntamente os gastos de OPEX e CAPEX, cada unidade custaria cerca de R\$2,5 milhões para transição da frota em 1 ciclo, em 2036; e R\$4,8 milhões em 2 ciclos (2050). De tal maneira, para eletrificação total da frota de ônibus de Porto Alegre em 2036 e 2050, seriam necessários (Tabela 34):

Tabela 34: Síntese dos custos para eletrificação da frota de ônibus de Porto Alegre em 2036 e 2050

Ciclos de renovação da frota de ônibus	Variáveis consideradas	Valor
1 ciclo	CAPEX + OPEX	R\$ 2.550.106 unidade
14 anos (2036)	CAPEX + OPEX	R\$ 6.153.404.833 frota total
2 ciclos	CAPEX + OPEX	R\$ 4.809.421 unidade
28 anos (2050)	CAPEX + OPEX	R\$ 11.605.131.918 frota total

Fonte: Elaboração própria.

Projeção financeira futura – taxa de desconto

A fim de projetar a equivalência de um valor futuro no presente, foi realizada a aplicação de uma taxa de desconto anual de 6%, valor utilizado tradicionalmente sob a ótica de projeção financeira para tomada de decisão de alocação de investimentos. A seguir, apresenta-se a aplicação da respectiva taxa para projeção financeira do custo da frota de ônibus movida a diesel de Porto Alegre até 2050 (Tabelas 35 e 36).



Tabela 35: Aplicação de taxa de desconto para o custo da frota de ônibus urbanos de Porto Alegre movida a diesel até o ano de 2050 (R\$ de 2022)

Ano	Taxa de desconto	Custo de aquisição	Custo de operação	Externalidades Saúde
	6,0%			
2023	1,0000	R\$ 411.626	R\$ 301.420	R\$ 197.393.654
2024	1,0600		R\$ 284.359	R\$ 186.220.429
2025	1,1236		R\$ 268.263	R\$ 175.679.650
2026	1,1910		R\$ 253.078	R\$ 165.735.519
2027	1,2625		R\$ 286.323	R\$ 156.354.263
2028	1,3382		R\$ 225.239	R\$ 147.504.022
2029	1,4185		R\$ 212.489	R\$ 139.154.737
2030	1,5036		R\$ 200.462	R\$ 131.278.054
2031	1,5938		R\$ 189.115	R\$ 123.847.221
2032	1,6895		R\$ 213.957	R\$ 116.837.001
2033	1,7908		R\$ 168.311	R\$ 110.223.586
2034	1,8983		R\$ 158.784	R\$ 103.984.515
2035	2,0122		R\$ 149.797	R\$ 98.098.599
2036	2,1329		R\$ 141.318	R\$ 92.545.848
2037	2,2609	R\$ 182.063	R\$ 133.318	R\$ 87.307.404
2038	2,3966		R\$ 125.772	R\$ 82.365.475
2039	2,5404		R\$ 118.653	R\$ 77.703.279
2040	2,6928		R\$ 111.937	R\$ 73.304.980
2041	2,8543		R\$ 126.641	R\$ 69.155.641
2042	3,0256		R\$ 99.623	R\$ 65.241.171
2043	3,2071		R\$ 93.984	R\$ 61.548.275



2044	3,3996		R\$ 88.664	R\$ 58.064.410
2045	3,6035		R\$ 83.646	R\$ 54.777.745
2046	3,8197		R\$ 94.633	R\$ 51.677.118
2047	4,0489		R\$ 74.444	R\$ 48.751.998
2048	4,2919		R\$ 70.230	R\$ 45.992.451
2049	4,5494		R\$ 66.255	R\$ 43.389.105
2050	4,8223		R\$ 62.505	R\$ 40.933.118
Total		R\$ 593.689	R\$ 4.403.222	R\$ 2.805.069.266

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 36: Síntese da aplicação de taxa de desconto para o custo da frota de ônibus urbanos movido a diesel

Ciclos de renovação da frota de ônibus	Variáveis consideradas	Valor
1 ciclo 14 anos (2036)	CAPEX + OPEX unitário	R\$ 3.464.541
	Valor Frota Total (1609 ônibus)	R\$ 5.574.445.881
	Valor Frota Total (1609 ônibus) + externalidades saúde	R\$ 7.519.302.977
2 ciclos 28 anos (2050)	CAPEX + OPEX unitário	R\$ 4.996.910
	Valor Frota Total (1609 ônibus)	R\$ 8.040.028.670
	Valor Frota Total (1609 ônibus) + externalidades saúde	R\$ 10.845.097.935

Fonte: Elaboração própria.

Assim como realizado anteriormente aos valores associados aos ônibus do transporte público movidos a diesel, torna-se necessária a aplicação da taxa de desconto, também, para os

custos estimados à eletrificação da frota. Os resultados encontrados podem ser visualizados nas tabelas 37 e 38.

Tabela 37: Aplicação de taxa de desconto para o custo da frota de ônibus urbanos de Porto Alegre movida a eletricidade até o ano de 2050 (R\$ de 2022)

Ano	Taxa de desconto	Custo de aquisição	Custo de operação
	6,0%		
2023	1,0000	R\$ 1.011.176	R\$ 80.042
2024	1,0600		R\$ 75.512
2025	1,1236		R\$ 71.237
2026	1,1910		R\$ 67.205
2027	1,2625		R\$ 63.401
2028	1,3382		R\$ 59.812
2029	1,4185		R\$ 56.427
2030	1,5036		R\$ 53.233
2031	1,5938		R\$ 50.219
2032	1,6895		R\$ 294.991
2033	1,7908		R\$ 44.695
2034	1,8983		R\$ 42.165
2035	2,0122		R\$ 39.779
2036	2,1329		R\$ 37.527
2037	2,2609	R\$ 318.627	R\$ 35.403
2038	2,3966		R\$ 33.399
2039	2,5404		R\$ 31.508
2040	2,6928		R\$ 29.725
2041	2,8543		R\$ 28.042



2042	3,0256		R\$	26.455
2043	3,2071		R\$	24.958
2044	3,3996		R\$	23.545
2045	3,6035		R\$	22.212
2046	3,8197		R\$	130.475
2047	4,0489		R\$	19.769
2048	4,2919		R\$	18.650
2049	4,5494		R\$	17.594
2050	4,8223		R\$	16.598
Total		R\$ 1.329.804	R\$	1.494.576

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 38: Síntese da aplicação de taxa de desconto para o custo de eletrificação da frota de ônibus urbanos

Ciclos de renovação da frota de ônibus	Variáveis consideradas	Valor
1 ciclo 14 anos (2036)	CAPEX + OPEX unitário	R\$ 2.047.421
	Valor Frota Total (2413 ônibus)	R\$ 4.940.426.091
2 ciclos 28 anos (2050)	CAPEX + OPEX unitário	R\$ 2.824.380
	Valor Frota Total (2413 ônibus)	R\$ 6.815.228.571

Fonte: Elaboração própria.

Ao se analisar os números finais produzidos pelos indicadores do presente estudo, torna-se nítida a viabilidade econômica de eletrificar a frota de ônibus do transporte público

urbano de Porto Alegre. As respectivas comparações apresentadas podem ser observadas a seguir, na conclusão parcial.

Conclusão parcial

As análises comparativas de simulações de investimento necessárias para se eletrificar a frota de ônibus urbanos de Porto Alegre ou mantê-la operando a diesel, considerando tanto os valores de CAPEX, OPEX, depreciação, revenda e valoração da poluição relacionada (Tabela 39) bem como aqueles de taxa de retorno (Tabela 40) indicam uma vantagem econômica em eletrificar tal modal de deslocamento urbano do município em todos os cenários avaliados.

Tabela 39: Comparação dos custos de se eletrificar a frota de ônibus urbanos de Porto Alegre ou mantê-la operando a diesel, considerando CAPEX, OPEX, depreciação, revenda e valoração da poluição relacionada (R\$ de 2022)

Variável	Cenário/Ciclo	Diesel	Elétrico	Diferença
CAPEX + OPEX unitário	2036 (1 ciclo)	R\$ 4.751.620	R\$ 2.550.106	R\$ 2.201.515
	2050 (2 ciclos)	R\$ 9.503.241	R\$ 4.809.421	R\$ 4.693.820
Valor frota total (1609 ônibus a diesel/2413 elétricos)	2036 (1 ciclo)	R\$ 7.645.357.384	R\$ 6.153.404.833	R\$ 1.491.952.551
	2050 (2 ciclos)	R\$ 15.290.714.768	R\$11.605.131.918	R\$ 3.685.582.850
Valor Frota Total (1609 ônibus a diesel) + Custos externalidade saúde	2036 (1 ciclo)	R\$ 10.408.868.546	R\$ 6.153.404.833	R\$ 4.255.463.713
	2050 (2 ciclos)	R\$ 20.817.737.093	R\$11.605.131.918	R\$ 9.212.605.175

Fonte: Elaboração própria.



Tabela 40: Análise comparativa de investimentos necessários para se eletrificar a frota de ônibus urbanos de Porto Alegre ou mantê-la operando a diesel, considerando taxa de retorno, CAPEX, OPEX, depreciação, revenda e valoração da poluição relacionada (R\$ de 2022)

Variável	Cenário/Ciclo	Diesel	Elétrico	Diferença
CAPEX + OPEX Unitário	2036 (1 ciclo)	R\$ 3.464.541	R\$ 2.047.421	R\$ 1.417.120
	2050 (2 ciclos)	R\$ 4.996.910	R\$ 2.824.380	R\$ 2.172.530
Valor frota total (1609 ônibus a diesel/ 2413 elétricos)	2036 (1 ciclo)	R\$ 5.574.445.881	R\$ 4.940.426.091	R\$ 634.019.790
	2050 (2 ciclos)	R\$ 8.040.028.670	R\$ 6.815.228.571	R\$ 1.224.800.099
Valor Frota Total (1609 ônibus a diesel/ 2413 elétricos) + Custos externalidade saúde	2036 (1 ciclo)	R\$ 7.519.302.977	R\$ 4.940.426.091	R\$ 2.578.876.886
	2050 (2 ciclos)	R\$ 10.845.097.935	R\$ 6.815.228.571	R\$ 4.029.869.364

Fonte: Elaboração própria.

Cenário 1

No cenário em que toda a frota seria eletrificada já em 2023, haveria uma economia de R\$3,7 bilhões até o ano de 2050, e R\$9 bilhões se considerados os custos inerentes da poluição na saúde da população de Porto Alegre. Em uma análise comparativa que considera uma taxa de desconto de 6%, no cenário em que toda a frota seria eletrificada já em 2023 haveria um retorno de R\$1,2 bilhões até o ano de 2050, R\$4 bilhões se considerados os custos inerentes da poluição na saúde da população de Porto Alegre. Seriam evitadas ainda emissões de ao menos 3,5 milhões de tCO₂e no período 2023-2050.

Cenário 2



Já no cenário onde é aproveitada a janela de oportunidade do fim da atual concessão, no ano de 2036 com início de operações em 2037, seriam evitados quase R\$1,5 bilhões em custos, ou R\$4,25 bilhões ao se somar os valores identificados ao sistema de saúde local e de produção sacrificada até o ano de 2050. Considerando a aplicação da taxa de desconto, haveria um retorno econômico de R\$1,4 bilhões, ou R\$2,5 bilhões ao se somar os valores identificados ao sistema de saúde local e de produção sacrificada. Nesse caso, seriam evitadas emissões de 1,7 milhões de tCO₂e.

Cenário 3

O cenário 3 prevê que toda a frota esteja eletrificada em 2050. Os dois cenários anteriores contemplam e chegam até esse objetivo.

Cenários	Economia até 2050	Economia até 2050 (considerados os custos inerentes da poluição na saúde)	Emissões evitadas até 2050
1- 100% da frota eletrificada em 2023	R\$3,7 bi	R\$9 bi	3,5 milhões tCO ₂ e
2- 100% da frota eletrificada em 2037	R\$1,5 bi	R\$4,25 bi	1,7 milhões tCO ₂ e

Tabela dos cenários analisados. Fonte: Elaboração equipe ICLEI.

A seguir, finaliza-se o relatório com a análise de CO₂ evitado por ônibus no caso da implantação das ciclovias simuladas (Quadro 5).



Quadro 5: Relação dos resultados com o Plano Diretor Ciclovitário de Porto Alegre

Enquanto contribuição potencial ao disposto no relatório, simula-se abaixo o quanto a realização de percursos via bicicleta representaria em reduções de emissões de CO₂ em uma hipotética substituição de ônibus urbanos por este modal ativo. Para tanto, foram considerados a indicação de 395,2 km de rede ciclovitária potencial e 123,3 km de rede estrutural. No âmbito da rede estrutural, foram selecionados 03 (três) trechos a serem tratados como prioritários (Porto Alegre, 2008. pp. 150-151).

Para tanto, utilizou-se da abordagem desenvolvida por IPCC (2006) e descrita no capítulo 5 deste estudo. Para calcular o volume de diesel utilizado para os percursos simulados, utilizou-se a taxa de consumo médio indicada por (ANTP, 2017), relativa a 0,5309 L/Km (ANTP, 2017). Em seguida, calculou-se o volume de diesel consumido por cada percurso simulado, indicado na tabela 42.

Tabela 42: Diesel consumido por percurso simulado (Km/L)

Trecho	Distância (Km)	Volume (L)
Rede Potencial	395,2	209,81168
Rede Estrutural	123,3	65,45997
CR-4/CX- Ciclovía Ipiranga	6,6	3,50394
CR-5/CD-7/CX-17 - Ciclovía Sertório	7,8	4,14102
CLR-4/RES-6	3,2	1,69888

Fonte: Elaboração própria.

Identificados os volumes de diesel consumidos, estes foram inseridos na equação principal, resultando nos seguintes valores de energia (Tabela 43).



Tabela 43: Energia equivalente (TJ) associada ao deslocamento dos percursos simulados

Trecho	Distância (Km)	Volume (L)	Energia (TJ)
Rede Potencial	395,2	209,81168	7,44916731
Rede Estrutural	123,3	65,45997	2,32409496
CR-4/CX- Ciclovía Ipiranga	6,6	3,50394	0,12440411
CR-5/CD-7/CX-17 - Ciclovía Sertório	7,8	4,14102	0,14702304
CLR-4/RES-6	3,2	1,69888	0,06031714

Fonte: Elaboração própria.

Finalmente, calculou-se a etapa final da metodologia descrita por IPCC (2006) ao relacionar os consumos energéticos por trecho aos fatores de emissão próprios dos ônibus urbanos (74.100 kg/TJ) no cenário de substituição hipotética por bicicletas, obtendo-se os resultados abaixo (tabela 44).

Tabela 44: Emissões de CO2 evitáveis por percurso simulado

Trecho	Distância (Km)	Volume (L)	Energia (TJ)	Emissões CO2 (ton)
Rede Potencial	395,2	210	7,45	552
Rede Estrutural	123,3	65	2,32	172
CR-4/CX- Ciclovía Ipiranga	6,6	4	0,12	9
CR-5/CD-7/CX-17 - Ciclovía Sertório	7,8	4	0,15	11
CLR-4/RES-6	3,2	2	0,06	4

Fonte: Elaboração própria.



Neste sentido, é possível identificar que o percurso da rede potencial e estrutural de bicicletas em Porto Alegre correspondem a, respectivamente, 552 e 172 tCO₂ caso fosse executado por ônibus urbanos municipais. Quanto aos trechos prioritários identificados no Plano Diretor Ciclovitário de Porto Alegre, estes corresponderiam a 9, 11 e 4 tCO₂ evitáveis por percurso, caso este se realizasse na totalidade por bicicletas. Ainda que os valores se demonstrem expressivos, cumpre ressaltar que, de acordo com o plano diretor, não se avalia que as bicicletas substituam completamente os deslocamentos realizados por ônibus, mas sim os complementem.

Por esta razão, não se recomenda que os resultados obtidos sejam utilizados pelo gestor para simular a redução de dióxido de carbono por ônibus no caso da implantação das ciclovias simuladas, mas que represente a relevância do transporte ativo integrado ao coletivo para a redução de emissões associadas a este último.



7. CONCLUSÃO

Desenvolver soluções de mitigação climática no setor de transporte, em especial aqueles terrestres, é estratégico ao município de Porto Alegre, visto que este é o que mais emite na capital do Rio Grande do Sul. Tendo em vista as possibilidades de atuação do poder público municipal frente a tal problemática, este projeto buscou respostas sobre possibilidades de investimento para eletrificação da frota de ônibus do transporte público do município, uma solução de grande relevância, visto que somam cerca de 10% das emissões de transportes terrestres. Além disso, considerando a emissão de poluentes originados de ônibus a diesel, os quais em quantidades acima do recomendado pela OMS podem impactar a saúde da população exposta, tanto para casos de morbidade quanto para mortalidade, a transição energética se apresenta como uma oportunidade positiva.

Destaca-se, também, que tal demanda se alinha diretamente à Política de Sustentabilidade, Enfrentamento das Mudanças Climáticas e Uso Racional da Energia de Porto Alegre, ao Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental, e à Estratégia de Resiliência da Cidade, além de indiretamente a outros marcos legais. Tal cenário reforça-se diante do nível de prioridade alto atribuído pela população para que a prefeitura de Porto Alegre invista para solucionar a problemática do transporte sustentável.

A valoração das externalidades de saúde realizadas apontou que, considerando a exposição prolongada da população a níveis de $13\mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{MP}_{2,5}$, valor registrado em estação de monitoramento da iniciativa Pacto Ar Alegre, decorreram aproximadamente 400 casos de morbidade em 2018 e 2019, os quais somam mais de R\$ 950 mil e R\$ 750 mil em valor corrente

de gastos públicos para os respectivos anos. Além disso, estimou-se que, por conta do poluente ocorreram cerca de 175 óbitos em 2018, enquanto em 2019 somaram-se mais de 210 perdas de vida; estas estimadas economicamente em medida de produção sacrificada (cidadãos acima de 15 anos), equivalem a mais de R\$ 165 milhões e R\$ 195 milhões em valores correntes.

Além de evitar tais transtornos e perdas econômicas, em decorrência da poluição causada por MP2,5, a mitigação de GEE alcançada com a eletrificação da frota de ônibus poderia vir a se tornar fonte de renda para o município em um cenário de regulamentação do mercado de carbono. Nesse contexto, estimou-se através de valores praticados em mercados de carbono voluntários, que tais emissões evitadas poderiam alcançar valores entre U\$4,7 milhões a mais de U\$100 milhões para 2018, enquanto para 2019 os valores variaram entre U\$4,9 milhões a mais de U\$110 milhões. Uma vez obtido o recurso em questão, este poderá ser utilizado, inclusive, para abater financiamentos para a eletrificação em questão.

A fim de valorar a eletrificação da frota de ônibus do transporte público de Porto Alegre, foram analisados três diferentes cenários de financiamento, sendo o primeiro deles para alcançar 100% da frota eletrificada a partir de 2022, o segundo a partir de 2027 (quando acontecerá a caducidade do atual contrato de concessão dos ônibus de transporte públicos de Porto Alegre) e o terceiro em 2050, ano limite para a neutralização das emissões de dióxido de carbono constante no Acordo de Paris. As variáveis consideradas para a respectiva simulação foram: CAPEX, OPEX, depreciação, revenda, taxa de retorno e valoração de externalidade de saúde. Em todos os cenários foi possível observar que, além de reduzir em grande medida as emissões de GEE, a transição da frota de ônibus do transporte público a diesel para elétrico mostra-se economicamente viável e positiva.

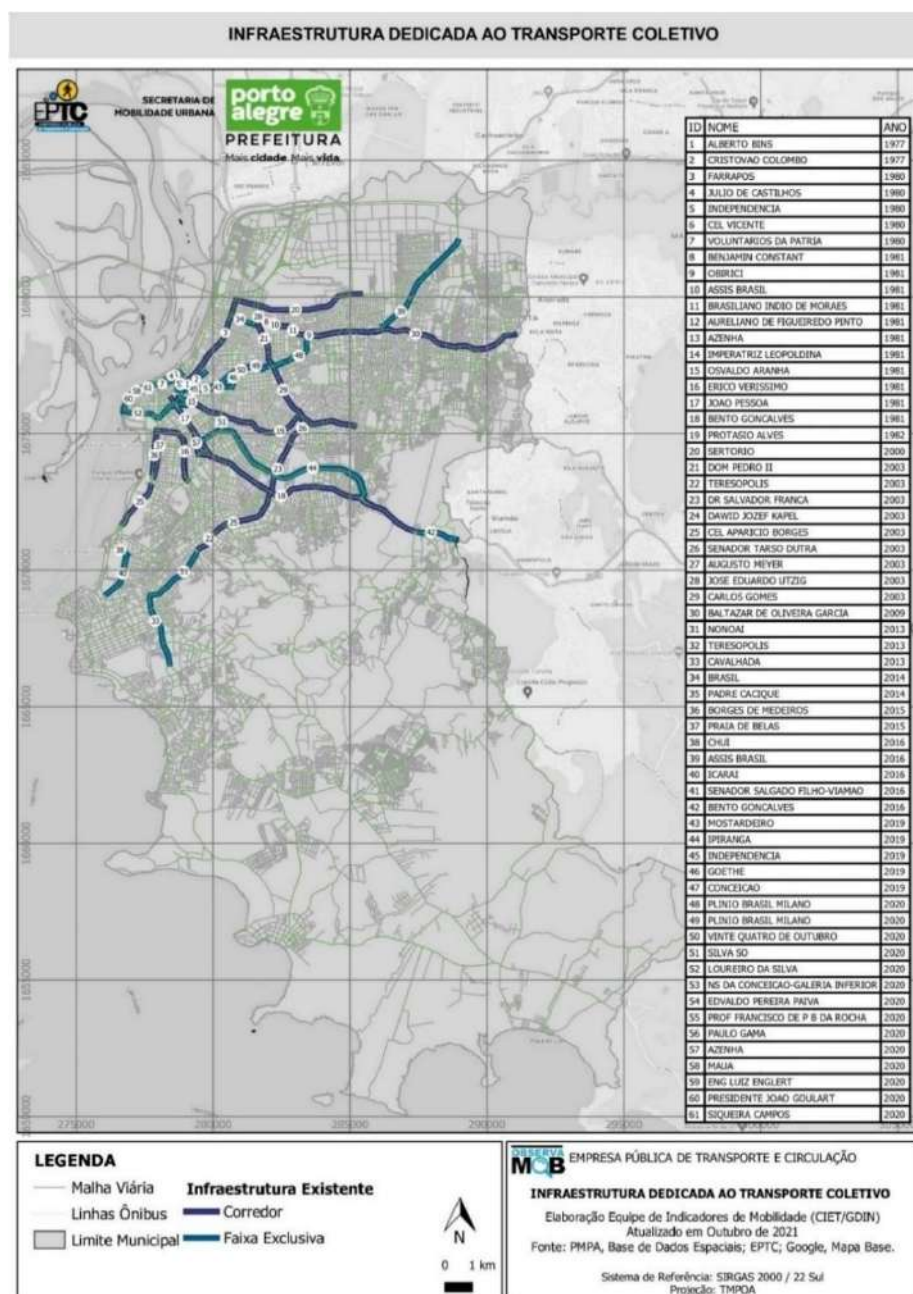
A partir dos resultados, torna-se possível que gestores atuais e futuros da prefeitura de Porto Alegre possam planejar, temporal e financeiramente, a execução de tal ação. De tal modo, este estudo pode ser usado como parâmetro para a adaptação de novos contratos de concessão do transporte público do município, os quais devem prever a eletrificação da frota de ônibus para o alcance das estimativas indicadas anteriormente. Além disso, os resultados apoiam o aprimoramento de metas de mitigação de emissões de GEE a serem alcançadas pelo poder público municipal, especialmente para o setor de transporte terrestre, de forma a tornar o município protagonista no cenário nacional em relação ao setor de transportes sustentáveis.

Sob a ótica da priorização das vias e linhas a serem eletrificadas no âmbito do presente estudo, dois critérios principais merecem aprofundamento metodológico: a concentração da infraestrutura de transporte urbano e a quilometragem percorrida individualmente pelas linhas de ônibus. Esta divisão é considerada para os critérios de priorização pois incidem de maneira distinta sobre a poluição urbana, dado que a concentração da infraestrutura de transporte tende a reforçar emissões de diferentes linhas de ônibus sobre um mesmo território, conforme se observa no mapa abaixo (Figura 6).



CENTRO
BRASIL
NO CLIMA

Figura 6: Infraestrutura dedicada ao transporte coletivo em Porto Alegre



Fonte: EPTC (2021).



A partir do critério de concentração da infraestrutura dedicada ao transporte coletivo, é recomendável a conversão prioritária das linhas circulantes na região central do município, em especial aquelas que utilizam os pontos “Nossa Senhora da Conceição-Galeria Inferior”, “Independência”, “Osvaldo Aranha”, “Alberto Bins” e “Cristóvão Colombo”. Adicionalmente, merecem atenção corredores situados a leste (onde encontram-se os pontos “Loureiro da Silva”, “Presidente João Goulart”, “Mauá, Siqueira Campos”, “Voluntários da Pátria”, “Júlio de Castilhos” e “Cel. Vicente”) e a nordeste da região central (localidade dos pontos “Farrapos”, “Brasil, Jose Eduardo Utzig”, “Benjamin Constant”, “Assis Brasil”, “Brasiliano Índio de Moraes” e “Obirici”).

Sob a ótica da análise individual das linhas de ônibus, recomenda-se que a priorização se dê a partir da transição de veículos que percorrem maiores distâncias quando comparados aos demais em uma mesma série temporal. O resultado da priorização das 20 linhas que percorrem as maiores distâncias se encontra a seguir, tendo sido indicados a partir de dados disponibilizados pela EPTC (2021) em relação ao exercício de 2019, visto que em tempos mais recentes houve assimetrias na oferta e demanda da rede de transportes ocasionada pela pandemia da COVID-19 (Tabela 45).



Tabela 45: Prioridade para transição segundo quilometragem percorrida, IPK e número de passageiros

Linha	Média Rod. Prod.	IPK	Passageiros
T7 - NILO/PRAIA DE BELAS	1366	,63	5738
165 – COHAB	1309	,43	4812
T11 - 3ª PERIMETRAL	1949	,09	7103
T1 - TRANSVERSAL 1	1638	,08	5536
T4 - TRANSVERSAL 4	1916	,86	6050
T12 - RESTINGA/CAIRÚ	1508	,85	4762
T6 - TRANSVERSAL 6	1618	,72	4841
B25 - A. FEIJO / HUMAITA	1480	,57	4067
B559 - PROTASIO/HUMAITA/NAVEGANTES	1740	,56	4596
R31 - RAPIDA – BENTO	1523	,5	4067
B56 - PASSO DAS PEDRAS / AEROPORTO	1589	,45	4054
T8 - CAMPUS / FARRAPOS	1409	,39	3726
T3 - TRANSVERSAL 3	1447	,31	3829



375 - AGRONOMIA/INFORMÁTICA	1309	,3	3386
B259 - A. FEIJO/HUMAITA/NAVEGANTES	1620	,25	3694
184 - JUCA BATISTA	1681	,22	4076
B55 - PROTASIO/HUMAITA	1835	,16	4226
3462 - SAO JOSE/SANTA CATARINA	1550	,03	3206
B51 - PARQUE / POSTAO IAPI/H CONCEICAO	1545	,7	2726
B02 - LEOPOLDINA/AEROPORTO/INDÚSTRIAS	1524	,4	2239

Fonte: Elaboração própria, a partir de EPTC (2021).

Dada a alta quilometragem percorrida pelos ônibus que compõem o sistema de ônibus de transporte público, sugere-se uma priorização progressiva para a eventual política de transição. Além desta variável, também se identificaram na base de dados operacionais fornecidas por EPTC (2021) o Índice de Passageiros por Quilômetro (IPK) e Passageiros Totais Transportados.

Ao cruzar estes dados, observou-se que o IPK médio permanece elevado apesar das elevadas distâncias percorridas, fenômeno este explicado pela quantidade também expressiva de passageiros transportados. A constância de um IPK razoável dentre as linhas de priorização sugerida é importante na medida em que a receita de passageiros transportados remunera o percurso da quilometragem transcorrida – fator este fundamental para qualquer linha cuja eletrificação se pretenda implementar.



ANEXOS

ANEXO 1 – Questionário aplicado à população de Porto Alegre

PESQUISA: Percepção da população de Porto Alegre quanto ao transporte público sustentável.

Esta pesquisa visa identificar a percepção da população de Porto Alegre quanto às mudanças climáticas e custos evitados pela implementação de transporte público sustentável, considerando especialmente a frota de ônibus da cidade. Além disso, pretende-se aproximar a comunidade de Porto Alegre com a temática do transporte urbano sustentável, potencializando a participação e engajamentos da comunidade porto-alegrense em eventos futuros relacionados ao projeto.

Perfil socioeconômico/territorial

- **Qual é o seu gênero?** (Feminino/Masculino/Prefiro não responder/Outros)
- **Qual é a sua faixa etária?** (Até de 15 anos/ Entre 16 e 30 anos/ Entre 31 e 40 anos/ Entre 41 e 50 anos/ Entre 51 e 60 anos/ Entre 61 e 70 anos/ Entre 71 e 80 anos/ 81 anos ou mais)
- **Como você se identifica?** (Amarela/Branca/Indígena/Parda/Preta)
- **Quanto a sua escolaridade, você apresenta:** (Ensino fundamental incompleto/ Ensino fundamental completo/ Ensino médio completo/ Graduação completa/ Pós-graduação completa)
- **Atualmente, sua principal ocupação está voltada a:** (Ao trabalho doméstico/Ao exercício militar (exército, marinha, aeronáutica, polícia militar ou corpo de bombeiros) / Aos



estudos/ Ao setor privado/ Ao setor público/ A Organizações Não-Governamentais (ONGs)/ Ao trabalho autônomo/ Ao trabalho não remunerado/ Sou empregador)

- **Você mora com crianças de até 5 anos?** (Sim/ Não)
- **Você mora com um adulto acima de 60 anos?** (Sim/ Não)
- **Contando com você, quantas pessoas na sua casa têm renda atualmente?** (Nenhuma/ 1 pessoa/ 2 pessoas/ 3 pessoas/ 4 pessoas/ 5 pessoas/ Mais de 5 pessoas)
- **Mensalmente, a soma da renda das pessoas que moram na sua casa é de:** (até R\$1.000/ entre R\$1.001 e R\$2.000/ entre R\$2.001 e R\$3.000/entre R\$3.001 e R\$5.000/ entre R\$5.001 e R\$10.000/ entre R\$10.001 e R\$20.000/ Acima de R\$20.001)
- **Em qual bairro de Porto Alegre você mora?**

Aberta dos Morros/ Agronomia/ Anchieta/ Arquipélago/ Auxiliadora/ Azenha / Bela Vista / Belém Novo/ Belém Velho/ Boa Vista/ Boa Vista do Sul/ Bom Jesus/ Bom Fim/ Camaquã/ Campo Novo/ Cascata/ Cavallhada/ Centro Histórico/ Chácara das Pedras/ Chapéu do Sol/ Cidade Baixa/ Coronel Aparício Borges/ Costa e Silva/ Cristal/ Cristo Redentor/ Espírito Santo/ Extrema/ Farrapos/ Farroupilha/ Floresta/ Glória/ Guarujá/ Higienópolis/ Hípica/ Humaitá/ Independência/ Ipanema/ Jardim Botânico/ Jardim Carvalho/ Jardim do Salso/ Jardim Europa/ Jardim Floresta/ Jardim Isabel/ Jardim Itu/ Jardim Leopoldina/ Jardim Lindóia/ Jardim Sabará/ Jardim São Pedro/ Lageado/ Lami/ Lomba do Pinheiro/ Mário Quintana/ Medianeira/ Menino Deus/ Moinhos de Vento/ Mont'Serrat/ Morro Santana/ Navegantes/ Nonoai/ Parque Santa Fé/ Partenon/ Passo da Areia/ Passo das Pedras/ Pedra Redonda/ Petrópolis/ Pitinga/ Ponta Grossa/ Praia de Belas/ Restinga/ Rio Branco/ Rubem Berta/ Santa Cecília/ Santa Maria Goretti/ Santa Rosa de Lima/ Santa Tereza/ Santana/ Santo Antônio/ São Caetano/ São Geraldo/ São João/ São Sebastião/ Sarandi/ Serraria/ Sétimo Céu/ Teresópolis/ Três Figueiras/ Tristeza/ Vila Assunção/ Vila Conceição/ Vila Ipiranga/ Vila Jardim/ Vila João Pessoa/ Vila Nova/ Vila São José



Perfil de uso do transporte público urbano rodoviário (ônibus)

- **Antes da pandemia, com que frequência você utilizava ônibus como transporte público?** (Até 2 dias na semana/ entre 3 e 5 dias na semana/ entre 6 e 7 dias na semana)
- **Atualmente, com que frequência você utiliza ônibus como transporte público?** (Até 2 dias na semana/ entre 3 e 5 dias na semana/ entre 6 e 7 dias na semana)
- **Sua frequência de uso de ônibus como transporte público mudou em decorrência da pandemia?** (Sim/ Não)
- **Se você respondeu "sim" para a pergunta anterior, pretende voltar a utilizar ônibus como transporte público com a mesma regularidade após o fim da pandemia?** (Sim/ Não/ Não sei/Não me enquadro)
- **Em média, quantos ônibus você utiliza para se deslocar na cidade, considerando os trajetos de ida e volta?** (Não Utilizo/Até 2 ônibus/Entre 3 e 4 ônibus/Entre 5 e 6 ônibus/Entre 7 e 8 ônibus/ Mais de 8 ônibus)
- **Qual é a principal motivação de seus deslocamentos por transporte público de ônibus em Porto Alegre?** (Não utilizo/ Trabalho/ Lazer/ Ensino/ Saúde/ Compras/ Outros)
- **Caso você tenha outra motivação de menor relevância em seus deslocamentos por ônibus em Porto Alegre, indique qual seria:** (Não utilizo/ Trabalho/ Lazer/ Ensino/ Saúde/ Compras/ Outros)
- **Você faz parte de alguma categoria de isenção de taxa de transporte público municipal?** (Sim/Não)



- **Se você respondeu sim à pergunta anterior, em qual categoria de isenção você se encaixa?** (Idoso/ Portador de Deficiência Física/ portador de Deficiência Visual/ portador de Deficiência Intelectual/ portador de Deficiência Auditiva/ portador de Paralisia Cerebral/ Portadores de HIV em tratamento/ Portadores de Insuficiência Renal Crônica/ Menor carentes em situação de vulnerabilidade social vinculado à FASC)

Mudanças Climáticas

- **Qual seu nível de conhecimento sobre o quanto POA será afetada pela mudança do clima?** (Alto/ Intermediário/ Baixo/ Nenhum)
- **Na sua opinião, para enfrentar a poluição e reduzir as emissões de Gases de Efeito Estufa localmente, qual deveria ser a prioridade de investimento da Prefeitura de Porto Alegre em transporte público sustentável?** (Alta/ Média/ Baixa/ Não deveria ser prioridade/ Não sei)
- **Para reduzir emissões de Gases de Efeito Estufa localmente, você estaria disposto a:**
(Fazer mais deslocamentos a pé ou de bicicleta/ Utilizar mais o transporte público do que veículo particular/Pagar mais caro na passagem para utilizar um transporte sustentável/ Utilizar opções de compartilhamento de corridas em aplicativos de deslocamento/ Ofertar caronas que condizem ao seu trajeto/ Não estou disposto a mudar meus hábitos atuais)
- **Para reduzir a poluição e emissão de Gases de Efeito Estufa causados pelos ônibus em Porto Alegre, quanto você estaria disposto a pagar pela passagem, além do valor atual?**
(Não estaria disposto a pagar mais caro/ Até R\$ 0,20 a mais do valor/ Entre R\$ 0,21 e R\$



0,40 a mais do valor/ Entre R\$ 0,41 e R\$ 0,60 a mais do valor/ Entre R\$ 0,61 e R\$ 0,80 a mais do valor/ Entre R\$ 0,81 e R\$ 1,00 a mais do valor/ Mais de R\$ 1,00 acima do valor)

Valoração de externalidades

- **Anualmente, quantos dias de trabalho você perde por estar com sintomas cardiorrespiratórios?** (Não perco dias de trabalho por este motivo/ Entre 1 e 5 dias/ Entre 6 e 10 dias/ Entre 11 e 30 dias/ Mais de 30 dias)
- **Anualmente, quantos dias de trabalho você perde para cuidar de indivíduos com sintomas cardiorrespiratórios?** (Não perco dias de trabalho por este motivo/ Entre 1 e 5 dias/ Entre 6 e 10 dias/ Entre 11 e 30 dias/ Mais de 30 dias)
- **Quanto, em R\$, você imagina que seja o prejuízo do município de Porto Alegre com a poluição causada pelos ônibus do transporte público?** (Menos 50 milhões/ Entre 51 a 200 milhões/ Entre 201 a 500 milhões/ Entre 501 a 1 bilhão/ Mais de 1 bilhão)

Questões finais

- **Quer deixar alguma sugestão ou comentário sobre a implementação de transporte público sustentável em Porto Alegre?**
- **Quer falar mais alguma coisa que não perguntamos?** Se sim, deixe aqui seu registro.
- **Você tem interesse em participar de discussões sobre o futuro sistema de indicadores de sustentabilidade para o transporte público urbano de Porto Alegre?** Em caso positivo, deixe seu e-mail e entraremos em contato.



ANEXO 2 – Relatos e sugestões da população relacionados ao transporte urbano sustentável no município, coletados via aplicação dos questionários

“Contratar estudos de viabilidade da troca da frota a combustão por ônibus elétricos em Porto Alegre.”

“Mudança da matriz energética e mudança para modos suaves de transporte.”

“Deve ser feita o mais rápido possível. O meio de transporte primário da cidade deve ser o público, com uso de veículos que não utilizem combustíveis fósseis, com o intuito de reduzir a dependência em automóveis e diminuir os níveis de emissão de gases nocivos ao meio ambiente, por parte da frota de ônibus que hoje operam em Porto Alegre.”

“Independente do impacto financeiro às atividades produtivas no momento presente, tomar medidas que melhorem a qualidade do ar que reduzam a interferência no clima deve ser uma prioridade de qualquer governo.”

“A implantação de um sistema de transporte público tem que atender ao requisito máximo: Poluição Zero!”

“A população precisa ser muito melhor informada sobre o que está realmente acontecendo, em termos de saúde pública, economia e fatores adversos, para que possa ter participação qualificada na solução do quebra-cabeça que é o transporte público em Porto Alegre + região metropolitana.”

“Implantar uma linha de ônibus elétrico como piloto. E linhas de ônibus com adaptação para o transporte de bicicletas em linhas onde os terminais ficam distantes do local de moradia.”



"Criar um Fórum com a participação da sociedade civil, da Prefeitura, dos Conselhos Municipais, CREA, IAB, Hospital de Clínicas, Santa Casa, Pronto Socorro... para debater os resultados desta pesquisa e elaborar Relatório Anual sobre a qualidade do ar em Porto Alegre."

"Sustentável não pode equivaler apenas à redução de emissão de gases estufa; precisa considerar a longevidade dos investimentos e um avanço na eficiência em relação à facilidade de locomoção e distribuição dos custos. Rotas sobrepostas (como Protásio Alves, Ipiranga, etc) são um ônus elevadíssimo aos passageiros (tempo de espera), ao ambiente (poluição, sobrecarga das vias) e aos cofres públicos. Precisamos pensar em locomoção fracionada, com eixos servidos por metrô/bonde e vias secundárias (e rotas perimetrais) servidas por ônibus e lotação."

"Aumentar o número de linhas transversais e radiais, conjuntamente com investimento em VLTs (elétricos). Qualificando o transporte público tornando mais atrativo para o usuário e limpo para a cidade."

"A implementação de um transporte público sustentável não deve ser arcada apenas pelo setor público assim como não deve encarecer o valor da passagem."



REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO (ANP). **Dados - vendas por município - Óleo Diesel**, 2018a. Disponível

em<<https://dados.gov.br/dataset/a-vendas-anuais-de-etanol-hidratado-e-derivados-de-petroleo-por-municipio-oleo-diesel/resource/312f379c-55f6-4c27-9558-3d164abbfc24>>. Acesso: 13 de maio de 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO (ANP). **Dados - vendas por município – Etanol hidratado**, 2018b. Disponível em

<<https://dados.gov.br/dataset/a-vendas-anuais-de-etanol-hidratado-e-derivados-de-petroleo-por-municipio-etanol-hidratado/resource/8db2bd48-b2cc-4155-9b27-12608c986915>>. Acesso: 13 de maio de 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO (ANP). **Dados - vendas por município – Gasolina C**, 2018c. Disponível

em<<https://dados.gov.br/dataset/a-vendas-anuais-de-etanol-hidratado-e-derivados-de-petroleo-por-municipio-gasolina-c/resource/8b6a9896-c70d-4a2a-9199-3e7f88cd42b4>>. Acesso: 13 de maio de 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO (ANP). **Dados - vendas por município - Óleo Diesel** – 2019a. Disponível

em<<https://dados.gov.br/dataset/a-vendas-anuais-de-etanol-hidratado-e-derivados-de-petroleo-por-municipio-oleo-diesel/resource/650324d0-15af-4ddf-960e-3b21d23ff81b>>. Acesso: 13 de maio de 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO (ANP). **Dados - vendas por município – Etanol hidratado**, 2019b. Disponível em

<<https://dados.gov.br/dataset/a-vendas-anuais-de-etanol-hidratado-e-derivados-de-petroleo-p>



or-municipio-etanol-hidratado/resource/7048d883-8ef0-4037-a84d-0f392bf53d3d>. Acesso: 13 de maio de 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO (ANP). **Dados - vendas por município – Gasolina C**, 2019c. Disponível em <<https://dados.gov.br/dataset/a-vendas-anuais-de-etanol-hidratado-e-derivados-de-petroleo-por-municipio-gasolina-c/resource/11be0ed8-2887-43ee-be05-1225cbe297d2>>. Acesso: 13 de maio de 2021.

ASSOCIAÇÃO DAS EMPRESAS DE TRANSPORTES URBANOS (NTU). **Boletim Mensal NTU: Impactos da Covid-19 no transporte público por ônibus**. Edição nº 4. 1º de abril de 2021. Disponível em <<https://www.ntu.org.br/novo/upload/Publicacao/Pub637523537674807205.pdf>>. Acesso: 20 de maio 2021.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES PÚBLICOS (ANTP). **Custo dos serviços de transporte público por ônibus: Método de Cálculo**. Agosto de 2017. Disponível em <<http://files.antp.org.br/2017/8/21/1.-metodo-de-calculo--final-impresso.pdf>>. Acesso: Outubro de 2021.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONOMICO E SOCIAL (BNDES). **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**. Disponível em: <<https://bit.ly/2EKERaY>>. Acesso: Agosto de 2021.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONOMICO E SOCIAL (BNDES). **Mobilidade Urbana**. Disponível em <<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/bndes-finem-mobilidade-urbana>>. Acesso: Agosto de 2021.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONOMICO E SOCIAL (BNDES). **Fundo Clima – Subprograma Mobilidade Urbana**. Disponível em

<<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/fundo-clima-subprograma-mobilidade-urbana>>. Acesso: Agosto de 2021.

BARAN, Renato; LEGEY, Luiz Fernando Loureiro. **Veículos elétricos: história e perspectivas no Brasil**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n.33, p. 207-224, mar. 2011.

BEST, Rohan; ZHANG, Qiu Yue. **What explains carbon-pricing variation between countries?** Energy Policy, v. 143, p. 111541, 2020.

CASTRO, Bernardo Hauch Ribeiro de; FERREIRA, Tiago Toledo. **Veículos elétricos: aspectos básicos, perspectivas e oportunidades**. BNDES Setorial, n. 32, set. 2010, p. 267-310, 2010.

CLARKSON, Richard; DEYES, Kathryn. **Estimating the social cost of carbon emissions**. London: HM Treasury, 2002.

COBEN. **Nota Técnica 02/88 – Critérios vendas de derivados CNP X BEN**. Disponível em <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/planejamento-e-desenvolvimento-energetico/publicacoes/balanco-energetico-nacional/1-sobre-o-ben/1-5-nota-tecnica-coben-02-vendas-do-cnp-nos-setores-pdf.pdf>>. Acesso: 21 de maio de 2021.

COMPANHIA ESTADUAL DE ENERGIA ELÉTRICA (CEEE). **Tarifas e Custos dos Serviços**. Disponível em <https://www.ceee.com.br/a-ceee/distribuicao-arquivos/folder-grupo-b_2020>. Porto Alegre, RS. Acesso: Agosto de 2021.

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.

DATASUS. **Óbitos p/ Residência por Faixa Etária - Porto Alegre**, 2021a. Disponível em <<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/defthtm.exe?sim/cnv/obt10rs.def>>. Acesso: 10 de junho de 2021.

DATASUS. **Morbidade Hospitalar do SUS por local de internação – Porto Alegre**, 2021b. Disponível em <<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/defthtm.exe?sih/cnv/nirs.def>>. Acesso: 10 de junho de 2021

EKOS GEOKLOK. Relatório 5- **Quantificação de Emissões de GEE pelo Setor Energia**, 2012. Disponível em <https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/meio_ambiente/INVEMI_P5.pdf>. Acesso: 13 de maio de 2021.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Avaliação Técnico-Econômica de Ônibus Elétricos no Brasil**. Nota Técnica, Brasília, 2020. Disponível em <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-480/topico-527/NT%20SEE-SDB%20-%20Avalia%C3%A7%C3%A3o%20T%C3%A9cnico-Econ%C3%B4mica%20de%20%C3%94nibus%20El%C3%A9trico%20no%20Brasil.pdf>>. Acesso: Agosto de 2021.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balanco Energético Nacional**, 2020. Disponível em <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topico-528/BEN2020_sp.pdf>. Acesso: 19 de maio de 2021.

EMPRESA DE TRANSPORTES E TRÂNSITO DE BELO HORIZONTE (BHTrans). **Auditoria Transporte Coletivo**. Disponível em

<<https://prefeitura.pbh.gov.br/bhtrans/informacoes/transparencia/transparencia-no-transporte-coletivo/auditoria-transporte-coletivo>>. Acesso: Agosto de 2021.

EMPRESA PÚBLICA DE TRANSPORTE E CIRCULAÇÃO (EPTC). **Transporte em Números: Indicadores Anuais do Transporte Público – Modal Ônibus**, 2016.

EMPRESA PÚBLICA DE TRANSPORTE E CIRCULAÇÃO (EPTC). **Ônibus**. Porto Alegre, 2021. Disponível em <http://www2.portoalegre.rs.gov.br/eptc/default.php?p_secao=155>. Acesso: Agosto de 2021.

ENVIRONMENTAL INSIGHT EXPLORER (EIE). **Porto Alegre - View Data**, 2018. Disponível em <<https://insights.sustainability.google/places/ChIjfQDhiE54GZURvWBPQncXAcc/download?ty=2018>>. Acesso: 05 de março de 2021.

ENVIRONMENTAL INSIGHT EXPLORER (EIE). **Porto Alegre - View Data**, 2019. Disponível em <<https://insights.sustainability.google/places/ChIjfQDhiE54GZURvWBPQncXAcc/download?ty=2019>>. Acesso: 05 de março de 2021.

ENVIRONMENTAL INSIGHT EXPLORER (EIE). **Methodology**. Disponível em <<https://insights.sustainability.google/methodology>>. Acesso: 21 de maio de 2021.

FREITAS, Luiz Filipe Silva; MEDEIROS, Kassiane. **Sustentabilidade veicular: o uso de veículos elétricos e híbridos**. Brazilian Journal of Development, v. 7, n. 8, p. 84614-84634, 2021.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER (FEPAM). **Relatório da Qualidade do Ar 2019**, 2020. Disponível em <http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/arq/Relatorio%20da%20Qualidade%20do%20Ar_2019.pdf>. Acesso: 19 de maio de 2021.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER (FEPAM). **Relatórios e arquivos sobre a qualidade do ar – Periodicidade anual**, 2021. Disponível em <http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/relatorio_anual_auto.asp?id=A.A&status=s>. Acesso: 19 de maio de 2021.

Grupo de Trabalho Zero Emission Bus Rapid-deployment Accelerator (GT ZEBRA). **Relatório 1ª Fase: Estudos preliminares para a introdução de ônibus elétrico**. Rio de Janeiro, 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo 2010**. Disponível em <https://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Demografico_2010/Resultados_do_Universo/xls/Municipios/rio_grande_do_sul.zip>. Acesso: 10 de junho de 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Porto Alegre**, 2018. Disponível em <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rs/porto-alegre.html>>. Acesso: 10 de junho de 2021

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua – PNAD**. Disponível em

<https://www.ibge.gov.br/arquivo/projetos/sipd/Questionario_PNAD_Continua.pdf>. Acesso: 03 de abril de 2021

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cidades – Porto Alegre**. Disponível em <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/porto-alegre/panorama>>. Acesso: abril de 2022.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC) - **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Volume 2, Japão, 2006. Disponível em <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2_Volume2/V2_3_Ch3_Mobile_Combustion.pdf>. Acesso: 13 de maio de 2021.

INTERNATIONAL COUNCIL ON CLEAN TRANSPORTATION (ICCT). **Benefícios de tecnologias de ônibus em termos de emissões de poluentes do ar e do clima em São Paulo**. São Paulo, 2019. Tim Dallmann. Disponível em <https://theicct.org/sites/default/files/publications/Emissions_benefits_bus_sao_paulo_Port_20190201.pdf>. Acesso: Ago 2021.

ITS & IBOPE. **Mudança Climática na Percepção dos Brasileiros**. Disponível em <https://itsrio.org/wp-content/uploads/2021/02/Apresenta%C3%A7%C3%A3o-IBOPE_FINAL.pptx.pdf>. Acesso: 04 de maio de 2021

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **Taxa de câmbio comercial para venda: real (R\$) / dólar americano (US\$) - média** Disponível em <<http://www.ipeadata.gov.br/ExibeSerie.aspx?serid=31924>>. Acesso: 31 de agosto de 2021.

KLENERT, David et al. Making carbon pricing work for citizens. **Nature Climate Change**, v. 8, n. 8, p. 669-677, 2018.

MAC-KNIGHT. V. **Aplicação do método de valoração contingente para estimar o altruísmo paternalístico na valoração de morbidade em crianças devida à poluição do ar em São Paulo**.



Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2008. Disponível em <http://www.ppe.ufrj.br/images/publica%C3%A7%C3%B5es/mestrado/Vivian_Mac-Knight.pdf>. Acesso: 04 de maio de 2021.

MAPBIOMAS. **Uso e Cobertura do Solo.** Disponível em <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/?activeBaseMap=8&layersOpacity=70&activeModule=coverage&activeModuleContent=coverage%3Acoverage_main&activeYear=2020&mapPosition=-14.392118%2C-56.250000%2C4&timelineLimitsRange=1985%2C2020>. Acesso: abril de 2022.

Ministério de Desenvolvimento Regional (MDR). **GUIA DE ELETROMOBILIDADE: Orientações para estruturação de projetos no transporte coletivo por ônibus**, 2022. Disponível em <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/mobilidade-e-servicos-urbanos/Guia_Eletromobilidade.pdf>. Acesso: maio de 2022.

MOBILIDADOS, 2018. Disponível em <<https://mobilidados.org.br/>>. Acesso: Dezembro de 2021.

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: 25 de abril de 2021.

OBSERVATÓRIO DE PORTO ALEGRE. **Mapas Temáticos.** Disponível em <http://observapoa.com.br/default.php?reg=275&p_secao=46>. Acesso: 12 de abril de 2021.

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-divulga-estimativas-nacionais-sobre-exposicao-a-poluicao-do-ar-e-impacto-nasaude&Itemid=839>.

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).



PACTO ALEGRE. **Porto Ar Alegre.** Disponível em <<https://pactoalegre.poa.br/projetos/porto-ar-alegre>>. Acesso: 28 de abril de 2021.

PABST, Gabriel. **Análise econômica da implantação de ônibus sustentáveis no município do Rio de Janeiro**, 2020. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Políticas Públicas do Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em <<https://www.ie.ufrj.br/images/IE/PPED/Dissertacao/2020/Dissertacao%20Final%20Gabriel%20Pabst.pdf>>. Acesso: Março de 2021.

PORTO ALEGRE. Lei Complementar nº 434 de 1º de Dezembro de 1999. Disponível em <http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/spm/usu_doc/pddua_-_texto_alterado_ate_lc_667_final_revisado_teresinha.pdf>. Acesso: Dezembro de 2021.

PORTO ALEGRE. Lei Complementar nº 626/2009 de 15 de julho de 2009. Disponível em <http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/eptc/usu_doc/lei_complementar_626_alterada_pela_lc_710_pdc.pdf>. Acesso: Dezembro de 2021.

PORTO ALEGRE. Lei Complementar nº 646 de 22 de julho de 2010. Disponível em <http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/spm/usu_doc/lc_646_-_8_de_outubro.pdf>. Acesso: Dezembro de 2021.

PORTO ALEGRE. Plano de Mobilidade Urbana de Porto Alegre. Diagnóstico da mobilidade no município de Porto Alegre e sua interface metropolitana (Revisado). Porto Alegre, 2020.

PORTO ALEGRE. Plano Diretor Ciclovitário Integrado de Porto Alegre. Porto Alegre, Set. 2008.

PORTO ALEGRE. Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental (PDDUA). Porto Alegre, 2011.

PORTO ALEGRE. **Conheça Porto Alegre.** Disponível em <<https://prefeitura.poa.br/gp/projetos/conheca-porto-alegre>>. Acesso: abril de 2022

RAMSTEIN, Celine et al. **State and trends of carbon pricing 2019**. The World Bank, 2019.

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

SALDIVA, Paulo H.N.; VORMITTAG, Evangelina M.P.A.A.; ANDRÉ, Paulo A.; DELGADO, Juliana A.S. **Avaliação dos impactos na saúde pública e sua valoração devido à implementação do gás natural veicular na matriz energética de transporte público - Ônibus e Veículos Leves em Seis Regiões Metropolitanas no Brasil**. Instituto Clima e Sustentabilidade. São Paulo, junho de 2019.

SANTANA, Gean. **As metas do Programa Nacional de Biodiesel: entre o planejado e o realizado**. Ambiente & Sociedade, v. 24, 2021.

SANTOS, Rui Jorge; BALTAZAR, Conceição. **Baterias: a “alma” dos veículos elétricos não para de somar vantagens**. Neutro à Terra, n. 27, p. 25-25, 2021.

SÃO PAULO TRANSPORTE (SPTrans). **Valores das Tarifas Vigentes a partir de 01/01/2020**. Disponível em <https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/mobilidade/institucional/sptrans/acesso_a_informacao/index.php?p=227887>. Acesso: Julho de 2021.

SEROA DA MOTTA, Ronaldo. Manual para Valoração Econômica de Recursos Ambientais. 1. ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 1998. v. 1. 218p.

SECRETARIA MUNICIPAL DO MEIO AMBIENTE DE PORTO ALEGRE. Projetos de monitoramento da qualidade do ar em Porto Alegre, 2013. Disponível em <http://proweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/smam/usu_doc/livro.pdf>. Acesso: 12 de maio de 2021.

SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES E REMOÇÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA (SEEG). **Emissões por Setor, 2018**. Disponível em <<http://plataforma.seeg.eco.br/sectors/energia>>. Acesso: 19 de maio de 2021.

THE WORLD BANK. **State and Trends of Carbon Pricing 2020**. Washington DC, May 2020.



VALATIN, Gregory et al. Forests and carbon: valuation, discounting and risk management. Forestry Commission, 2011.

WAYCARBON, ICLEI & ECOFINANCE. **2 Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa de Porto Alegre,** 2021. Disponível em <https://americadosul.iclei.org/wp-content/uploads/sites/78/2021/08/relatorio-inventario-poa-web.pdf>. Acesso: abril de 2022.

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/graffzivin/graffzivin_publications_2013b.pdf. Acesso: 25 de abril de 2021.